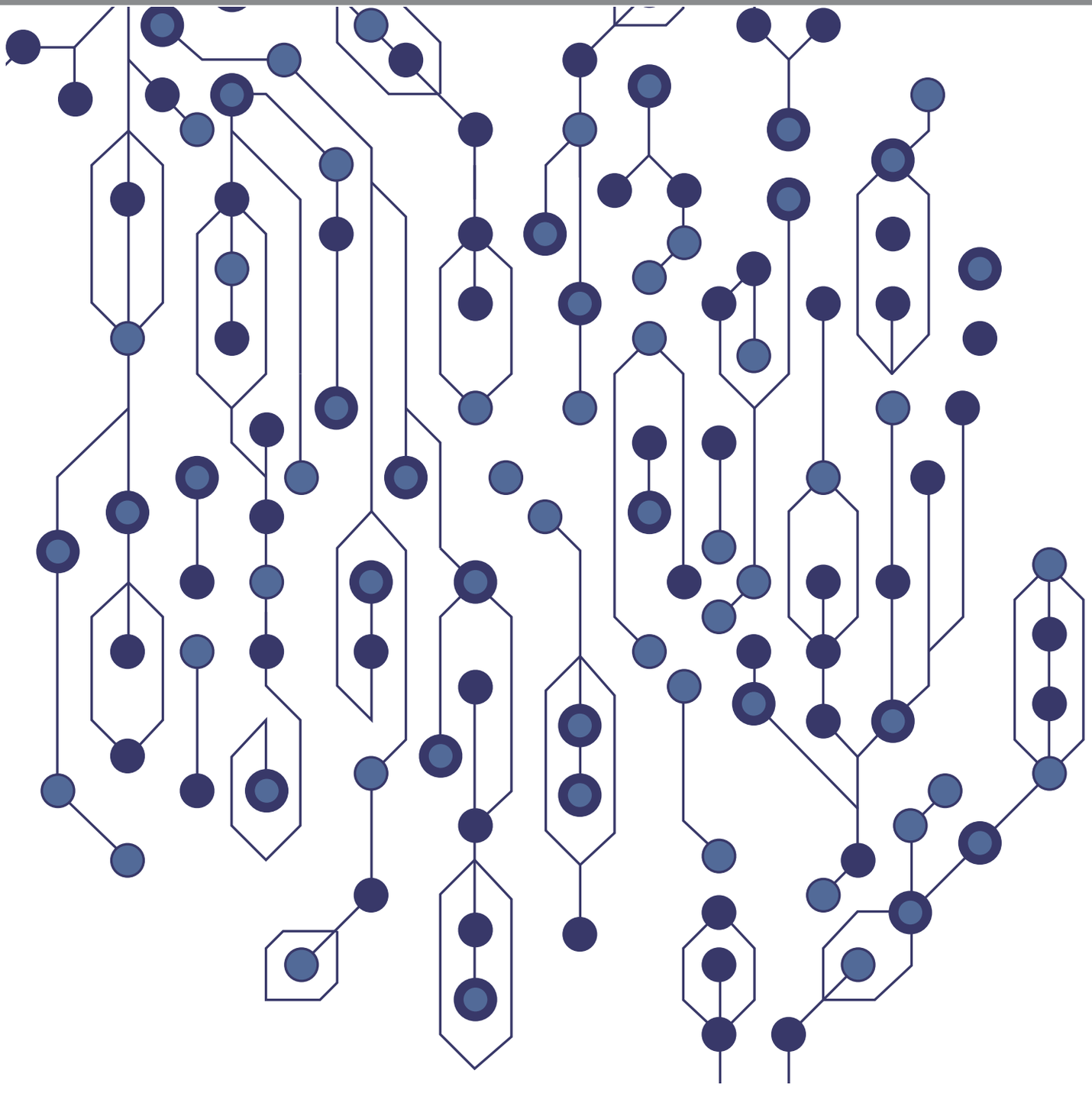
Jari Kainulainen • Raimo Mäkelä • Heli Ollila • Erkki Vainio

SÄHKÖTEKNIIKKA JA ELEKTRONIIKKA



Sanoma Pro Oy
Helsinki

Tiedustelut
Sanoma Pro Oy, Helsinki
puh. 020 391 000
sähköposti: asiakaspalvelu@sanomapro.fi

www.sanomapro.fi

Kustantaja: Sanoma Pro Oy
1. painos, 2016

ISBN 978-952-63-3406-6

Toimitus: Niko Haarala
Ulkoasu: Jaana Rautio / gravision
Taitto: Hilkka Hyvärinen / hipateos
Kansi: Anna Mattsson / SuomiDesign
Kuvitus: Katja Kimpimäki, Nea Saastamoinen, Satu Salonen-Karabulut,
Anne-Mari Taskinen, Katri Virtalaakso, tekijät

© Jari Kainulainen, Raimo Mäkelä, Heli Ollila, Erkki Vainio ja Sanoma Pro Oy

Kopiointiehdot
Tämä teos on oppikirja, joka on suojattu tekijänoikeuslailla (404/61).

Tämän teoksen tai sen osan valokopiointi, skannaaminen tai muu digitaalinen kopiointi tai käyttö edellyttää oikeudenomistajan luvan.

Kopiosto ry myöntää teosten osittaiseen kopiointiin lupia. Tarkistakaa, mitkä valokopiointi- ja digiluvat ovat kohdallanne voimassa. Lisätietoja luvista www.kopiosto.fi.

Teoksen tai sen osan muuntelu on kielletty.

Esipuhe

Sähköalojen opinnot vaativat aina tiettyjen perusasioiden osaamista, jotta alalla pystyy toimimaan. Kaikelle yhteistä ovat kytkennät, joita käytetään sähköverkossa ja sähkölaitteissa erilaisten toiminnallisuuksien aikaansaamiseksi. Kaikkea sähköön liittyvää pystyy havainnoimaan vain mittaamalla, joten erilaisten mittalaitteiden käyttäminen on välttämätöntä, jotta alan ilmiöitä pystyy havaitsemaan. Kytkentöjen toiminnan ymmärtää, kun on ensin oppinut, miten eri sähköiset suureet käyttäytyvät virtapiireissä.

Tämä kirja on käytännönläheinen kokonaisuus sähköalojen perusasioista. Kirjassa käydään läpi sähköoppi sekä erilaiset peruskytkennät ja graafiset esitystavat analogia- ja digitaalielektroniikassa sekä sähköasennustekniikassa. Asioita käydään myös läpi käytännönläheisesti projektein niin, että lukija pystyy halutessaan kokeilemaan niitä itsekin. Samalla kuitenkin aina selitetään, miksi asiat tehdään niin kuin ne tehdään ja siten teoriat sidotaan käytäntöön. Oppimista myös tuetaan aihealueisiin liittyvin tehtävin, joita on jaettu vaikeustasoihin.

Kirja on tarkoitettu oppimateriaaliksi sekä sähkö- ja automaatiotekniikan että tieto- ja tietoliikennetekniikan perustutkintojen tämänhetkisten opetussuunnitelmien mukaiseen opiskeluun. Lisäksi kirja tarjoaa asioista tietoa laajemmin kuin yksittäisen opiskelijan tarvitsee oppia. Näin se antaa opettajalle mahdollisuuden painottaa opetustaan opiskelijalähtöisesti ja sopii käytettäväksi kaikkien tekniikan alojen perusoppikirjana toisella asteella ja ammattikorkeakouluissa.

Suuri kiitos Salon seudun ammattiopiston sähköalan ensimmäisen vuoden opiskelijoille tämän kirjan tehtävien ja kytkentöjen rakentamisesta ja testaamisesta.

Heinäkuussa 2016

Tekijät

Sisällys

Esipuhe 3

1 Sähkötyöturvallisuus 8

Työsalissa toiminen 9
Asenne ratkaisee 9
Kuuma kolvi 9
Juotoskaasut 9
Lyijy on myrkyllistä 9
Vaaralliset aineet 10
Lentelevät langanpätkät 10
Leikkaavat työkalut 10
Komponenttien väärä kytkentä 10
Roskat kierrätykseen 10
Myös itse laite voi olla vaarassa 11
Asialliset, oikeat ja ehjät työkalut 11
Laitteen käyttäjää koskevia kohteita 11

Sähkön käytön perussäännöt 12
Maallikon sähkötyöt 13

Sähkövirran vaikutukset 14
Sähkövirran vaikutus ihmiseen 14
Vaihtovirran vaikutus 15
Tasavirran vaikutus 16

Sähkötapaturmat 17
Maallikon tapaturmat 17
Sähköalan ammattilaisten tapaturmat ja tapaturmien ehkäisy 17
Sähköisku 20

Työturvallisuus 22
Sähköasentajan henkilökohtaiset työvaatteet ja suojaimet 23
Ensiapu sähkötapaturmissa 24

Sähköiskulta suojautuminen 25
Sulakkeet 26
Pistotulpat 26

Käsitteitä 27

2 Tekniset piirustukset 30

Kappaleiden ja koneiden piirustukset 30
Mittakaava 30
Viivalajit 31
Kohtisuorat projektiot 32
Mitoitus 35
Mitoitustavat 37
Mitoitusoheita 39
Piirtäminen 41

Rakennuspiirustukset 42
Asemakaava ja tonttijako 42
Talon rakentamisen piirustukset 43

Sähköalan piirustuksia 46
Johdotuspiirustukset 47
Sähkökeskuksen pääkaavio 47
Keskuksen piirikaavio 47
Nousujohtokaavio 48
Maadoituskaavio 49
Telepiirustukset 49
Sähkölämmitys 51

Elektroniikkapiirustukset 52
Lohkokaavio 52
Piirikaavio 53
Piirilevy ja osasijoittelukuva 54
Johdotuspiirustus 55

Automaatiopiirustukset 55
Automaation piirustuksia 56
Prosessi- eli PI-kaavio 56
Säätökaavio 59
Vuokaavio 60

ATK- ja telejärjestelmät 61
Yleiskaapelointi 61

3 Tasasähkötekniikka 64

Mitä sähkö on? 64
Suljettu virtapiiri ja avoin virtapiiri 70
Suureet ja yksiköt 73
Suureiden mittaaminen yleismittarilla 74
Resistanssin mittaaminen 74
Jännitteen mittaaminen 75
Virran mittaaminen 76
Virtapiirilait 77
Ohmin laki 77
Kirchhoffin virtalaki 81
Kirchhoffin jännitelaki 82
Sähköteho 83
Vastusten kytkennät 88
Sarjakytkentä 88
Rinnankytkentä 90
Sekakytkentä 92
Johdon resistanssi 94
Johdon lämpeneminen 97

4 Yksivaiheinen vaihtosähkötekniikka 98

Vaihtosähkön tuottaminen 99
Vaihtosähkön käsitteitä 100
Vaihtosähkön mittaaminen 106
Osoittimet 107
Vaihtosähköpiirin kuormat 109
Vaihe-ero eli vaihesiirto 109
Vastus vaihtosähköpiirissä eli resistiivinen kuorma 110
Kondensaattori vaihtosähköpiirissä eli kapasitiivinen kuorma 114
Kela vaihtosähköpiirissä eli induktiivinen kuorma 117
Vaihtosähköpiirien sarjakytkentä 123
Vastus ja kondensaattori 123
Vastus ja kela 126

5 Magnetismi 128

Ferromagnetismi 128
Spin 131
Kestomagneetin valmistaminen 132
Magnetismin lajit 132
Sähkömagneetit 134
Sähkövirran aiheuttama magneettikenttä johtimessa 135
Johtimen magneettikenttä 135
Kelan magneettikenttä 136
Magneettikenttien voimavaikutukset 137
Keskinäinen vaikutus 137
Virrallinen johdin magneettikentässä 139
Virrallinen johdinsilmukka ulkoisessa magneettikentässä 140
Sähkömagneettinen induktio 142
Liikkuva johdin magneettikentässä 142
Liikkuva johdinsilmukka magneettikentässä 144

6 Elektroniikka 146

Projektina FM-radio 146
- FM-viritin 146
- Äänenvoimakkuuden ja sävynsäädön yksikkö 147
- Digitaalinen vahvistin 147

Oppimisympäristö ja opiskelu 148

Juottaminen 150
- Juottamiseen tarvittavat välineet 150
- Hyvän juotoksen tekemisen vaiheet 151

Juotosharjoituksia läpijuotettavilla komponenteilla 153
- Raportti tehdyistä harjoitustöistä 153

Vastukset 153
- Vastusten arvot ja tarkkuus (toleranssi) 154
- Vastusten merkinnät 154
- SMD-vastukset 155
- Tehovastukset 156
- Arvomerkinnät 156
- Potentiometrit, trimmerit ja säädettävät vastukset 156
- Ulkoisista olosuhteista riippuvat vastukset 157
- Vastusten mittausharjoitus ja yleismittariin tutustuminen 158
- Vastusten sarjaankytkentä 159
- Vastusten rinnankytkentä 160
- Ledin etuvastuksen mitoitus 160
- Ledin etuvastuksen laskeminen 160

Kondensaattorit 162
- Kondensaattorin rakenne 163

Piirilevyn suunnittelu Cad-ohjelmalla 163
- Suunnittelu 164

Piirilevyn valmistaminen syövyttämällä 165
- Tarvittavat aineet 165
- Työn kulku 165
- Toinen levynvalmistustapa 166

Diodit 166

Transistorit 167
- Kanavatransistori, FET 168

Operaatiovahvistin 168

Peruskytkennät 169

Esivahvistimen rakentaminen 170

Digitaalisen oskilloskoopin käyttö 171
- Käyttöharjoitus 173

Virittimen rakentaminen ja viritys 174

D-luokan vahvistimen rakentaminen 174

Kotelointi 175
- Radion käyttöjännite 176

Sähkömekaaniset komponentit 176

Muuntajat ja kelat 177
- Puoliaaltotasasuuntauskytkentä 178
- Kokoaaltotasasuuntauskytkentä 178
- Todellinen tasajännitelähde 179
- Kaksipuoleinen jännitelähde 179

Lopuksi 179

7 Digitaalielektroniikka 180

Johdanto 180

Lukujärjestelmät 183

Boolen algebra 186

Mikrokontrollerit 192
- Mikrokontrolleriympäristö 193

Yleistä mikrokontrollerin ohjelmoinnista 197

Mikrokontrollerin ohjelmoinnin aloittaminen 199
- Lähtöjen ja tulojen käyttäminen 205
- Ledien käyttäminen 205
- Painonappien toteuttaminen 208
- Analogisten jännitteiden käyttäminen mikrokontrollerilla 210
- Säätövastus 211
- Suurten virtojen ohjaaminen mikrokontrollerilla 215

8 **Sähköasennustekniikka** 220

Kaapelit 220
- Johtimien värit 227
- Johtimien käyttö 229
- Kaapelin kuoriminen 230
- Pihdit 233
- Leikkurit 234
- Vääntimet 234
- Ruuvitaltan käyttö 235
- Muut työkalut 236

Asennustarvikkeita 236
- Jakorasiat 236
- Kiinnitystarvikkeet 237
- Liitostarvikkeet 238

Sähköasennusten perusteita 241

Jatkojohdot 241
- Nimityksiä 242
- Jatkojohdon tekeminen 243

Kotelointiluokitukset 246

Kaapelin asentaminen kalusteisiin 249

Asennustavat 250
- Pinta-asennus 250
- Uppoasennus 250

Asennuskalusteet 251

Vikavirtasuojaus 256

Jännitteettömät käyttöönottotarkastukset 258

Kuvalähteet 261

Liite: Elektroniikan piirrosmerkkejä 262

1 Sähkötyöturvallisuus

Tässä luvussa

- **opitaan, miten sähköasennustyöt ja elektroniikan työt tehdään turvallisesti**
- **opitaan, kuka saa tehdä kiinteitä asennuksia ja mitä asennuksia maallikon on lupa tehdä**
- **opetellaan, miten sähköiskulta suojaudutaan ja miten vikavirtasuojataan sähkölaitteita.**

Sähköalan ammattilaiselle ensimmäinen ja tärkein asia on oppia tekemään sähköasennukset turvallisesti ja oikeita työtapoja noudattaen. Sähkötyöturvallisuus onkin Suomessa tasokasta ja ammattilaisten vakavat sähkötapaturmat ovat erittäin harvinaisia. Vähäisempiä sähkötapaturmia ja vaaratilanteita kuitenkin sattuu enemmän kuin tilastot kertovat. Sähkötyöturvallisuus syntyy ennen kaikkea oikeasta asenteesta mutta myös suojavarusteista, oikeista työtavoista ja oikeista työvälineistä. Sähköalalle on laadittu monenlaisia säädöksiä ja standardeja edistämään sähkötyöturvallisuutta ja ohjaamaan sähkön käyttöä. Ne koskevat myös tavallista sähkön kuluttajaa. Suomessa sähkötyöturvallisuutta valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes (entinen Turvatekniikan keskus).

Elektroniikan osalta turvallisuusasiat ovat hieman erilaisia verrattuna sähkövoima-alan vastaaviin. Ne voidaan jakaa neljään ryhmään:

1. työntekijään kohdistuviin
2. ympäristöön kohdistuviin
3. elektroniikkalaitteeseen kohdistuviin
4. käyttäjään kohdistuviin.

Työsalissa toimiminen

Sähköalan työsalilta vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia. Esimerkiksi lattian pitää olla puolijohtava. Lisäksi helposti käytettävissä olevia hätäkatkaisijoita tulee olla riittävä määrä. Niistä saa katkaistuksi sähkön kaikista pistorasioista.

Asenne ratkaisee

Osaamistaitojen saavuttamisen edellytyksenä on oikea asenne opiskeluun. Iloinen ilme ja kellonajan tunteminen ovat olennaisia työpaikallakin. Virvoitusjuomatölkit, päällysvaatteet ja muut turhat tavarat eivät luonnollisesti kuulu sähköalan työsaliin.

Kuuma kolvi

Elektroniikan parissa toimiva joutuu usein tekemään korjauksia ja asennuksia juottamalla. Käytössä on siis kolvi, jonka kärjen lämpötila voi olla jopa 450 °C. Varovaisuus on paikallaan, koska juotettava kohde saattaa olla lämmin vielä tovin toimenpiteen jälkeen. Lisäksi esimerkiksi kolvin putoaminen käsistä saattaa vahingoittaa sitä refleksinomaisesti kiinni ottavaa kättä.

Juotoskaasut

Juotettaessa syntyy myös epäterveellisiä juotoskäryjä. Niitä varten pitää olla hyväksytty ja kunnossa oleva juotoskaasujen poistoimuri, joka on suunnattu kohteeseen oikein.

Lyijy on myrkyllistä

Vaikka EU-direktiivien mukaan kaiken kulutuselektroniikan laitteiden juotoksissa käytettävän tinan on oltava lyijytöntä, monissa laitteissa on vielä käytössä lyijyllistä. Allergikon on syytä käyttää hansikkaita töissään.

Vaaralliset aineet

Elektroniikkaan liittyy myös piirilevynvalmistus. Syövytettäessä käytetään erilaisia kemikaaleja, joiden käytössä täytyy olla varovainen. Käyttöturvallisuustiedotteet täytyy lukea huolellisesti. Piirilevyjyrsintä käytettäessä täytyy huolehtia myös pölynpoistosta.

Lentelevät langanpätkät

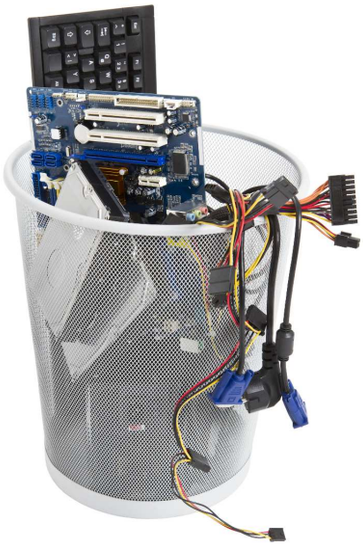
Varsinkin prototyyppejä valmistettaessa joudutaan usein katkomaan komponenttien liitinjohtimia. Lentelevät langanpätkät voivat olla vaaraksi lähellä työskenteleville.

Leikkaavat työkalut

Koteloiden valmistuksessa tarvitaan myös leikkaavia työkaluja aukkojen ym. tekemistä varten. Aihion tukeva kiinnitys ja suojalasien käyttö ovat pakollisia.

Komponenttien väärä kytkentä

Elektrolyyttikondensaattorien napaisuus on tarkastettava huolellisesti, koska väärinpäin kytketty kondensaattori voi jopa räjähtää. Suojalaseja kannattaa käyttää, kun laitteeseen kytketään käyttöjännite ensimmäistä kertaa. Myös väärin mitoitetut komponentit voivat aiheuttaa vaaratilanteita esimerkiksi kuumenemalla liikaa.



Roskat kierrätykseen

Komponenteissa on paljon jalometalleja, ja mukana voi olla myös haitallisia aineita. Jätteiden lajittelu (elektroniikka- ja metallijäte) on siten hyvin tärkeää.

Myös itse laite voi olla vaarassa

Komponentit saattavat olla hyvin herkkiä staattiselle sähkölle. Koska komponenttien koko pienenee koko ajan, myös niissä olevat eristevälit kutistuvat. Staattinen sähkö voi siten aiheuttaa ylilyöntejä komponentin sisällä. Vika ei näy ulospäin, ja se saattaa ilmentyä vasta jonkin ajan kuluttua. Myös liika lämmittäminen voi tuhota piirilevyn. Lisäksi mittalaitteiden väärä käyttötapa voi aiheuttaa testattavan laitteen vikaantumisen.

Asialliset, oikeat ja ehjät työkalut

Viimeinen muttei suinkaan vähäisin asia on huolehtia siitä, että työkalut ovat oikeita, sopivia ja ehjiä. Esimerkiksi ruuvinvääntimessä käytetyt väärät ruuvauskärjet saattavat luiskahtamalla vahingoittaa käyttäjää ja ruuvin kantaa.

Laitteen käyttäjää koskevia kohteita

Suunniteltavan laitteen tulee luonnollisesti täyttää kaikki sähköturvallisuusmääräysten kohdat kotelointeineen, suojausluokkineen ja kosketussuojineen. Laitteen rakentaja on aina vastuussa tekemänsä laitteen turvallisuudesta.

VAROITUS

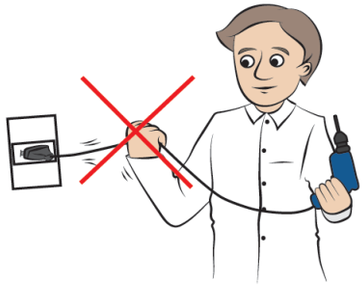
Kaikki sähkölaitteet ovat vaarallisia väärin käytettynä. Varmista aina laitteen jännitteettömyys ennen kuin kosket sitä työkaluilla. Älä koskaan koske pistorasian metalliosia tai rikkinäisiä sähkölaitteita, ennen kuin olet varmistanut niiden jänniteettömyyden. Jos saat sähköiskun, sähkövirta voi antaa sydämellesi sellaisen iskun, että se lakkaa sykkimästä

Sähkön käytön perussäännöt

Oikein käytettynä sähkö on turvallista, kun taas väärin asennettuna tai väärin käytettynä sähkölaite on riski turvallisuudelle.

Sähkölaitteen käyttöohjeet on aina luettava huolellisesti ennen laitteen käyttöä, ja niitä on noudatettava kaikissa tilanteissa:

- Kaikki sähkölaitteet täytyy pitää siistinä.
- Huolehdi, että sähkölaitteella on riittävä ilmankierto.
- Älä vedä johdosta, kun otat laitteen pistotulppaa pistorasiasta pois.
- Älä jätä sähkölaitteita käyntiin ilman valvontaa.
- Huolehdi, että sähkölaitteet ovat aina kunnossa. Jos laite on rikki, sen korjaaminen kuuluu ammattilaiselle.



- Korjauta rikkinäinen laite tai sähköasennus ammattilaisella heti, kun olet huomannut vian.
- Älä jätä sähkölaitteita käyntiin ilman valvontaa.
- Huolehdi, että sähkölaitteet ovat aina kunnossa. Jos laite on rikki, kuuluu korjaustyö ammattilaiselle.

fiddle	leikkiä
electrical	sähkö-
fitting	asennus
electrician	sähkö-asentaja

Maallikon sähkötyöt

Tavallinen sähkönkäyttäjä eli maallikko saa tehdä ainoastaan eräitä vähäisiä sähkötöitä, ja hänen tulee varmasti osaa tehdä ne oikein. Hänen täytyy olla myös riittävästi perehtynyt työhön liittyviin ohjeisiin ja sähköturvallisuuteen.

Tällaisia töitä ovat esimerkiksi

- asunnon sulakkeen vaihtaminen
- valaisimen liittäminen katossa olevaan ”sokeripalaan”
- sähkölaitteen rikkoutuneen pistotulpan, johdon ja johdossa olevan välikytkimen vaihtaminen
- yksivaiheisen jatkojohdon valmistaminen ja korjaaminen
- jännitteettömiksi tehtyjen pistorasian ja valaisinkytkimen kannen irrottaminen ja kiinnittäminen esimerkiksi tapetoinnin ajaksi ja rikkoutuneiden kansien vaihto
- omaan käyttöön rakennettujen sähkölaitteiden korjaus, jos se liittyy sähköalan harrastustoimintaan.

TEHTÄVIÄ

1 Kerro, miksi seuraavat neuvot ovat hyödyllisiä jatkojohtoa tehtäessä:

a) Älä koskaan liitä johdon molempiin päihin pistotulppaa.

b) Älä käytä sisälle tarkoitettua jatkojohtoa ulkona.

c) Älä liitä useita jatkojohtoja peräkkäin.

d) Älä liitä moniosaisiin jatkopistorasioihin suuritehoisia sähkölaitteita.

e) Älä muuta millään tavoin johdon rakennetta.

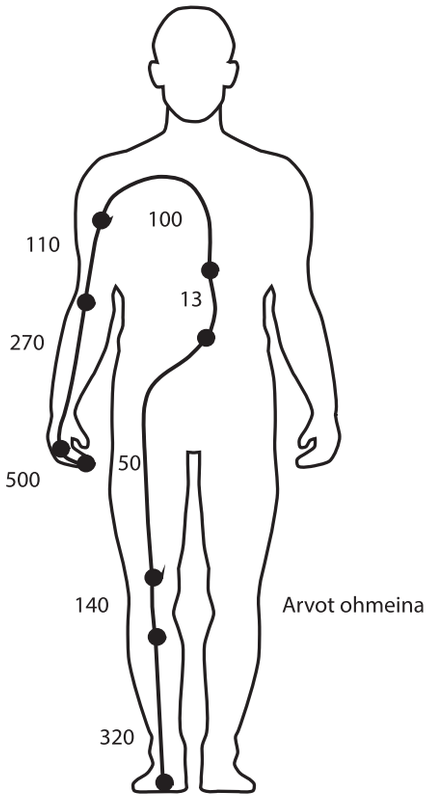
TEHTÄVIÄ

2 Miksi vieressä olevan kuvan nippu on vaarallinen. Miten tilanne voidaan korjata?

Sähkövirran vaikutukset

Sähkövirran vaikutus ihmiseen

Sähkövirta vaikuttaa ihmisiin yksilöllisesti. Pienikin virta voi aiheuttaa häiriöitä elimistöön. Ihmiskehon sisäisellä sähköjärjestelmällä on sen toimintojen ylläpitämisessä tärkeä osuus. Lihasten toimintaa ohjaavat pääasiassa hermoratajärjestelmiä pitkin etenevät sähköiset impulssit. Impulssit saavat aikaan lihassolujen supistumista, jotka ohjaavat lihasten liikkeitä. Kehon sisäiset jännitteet ja virrat ovat hyvin pieniä, minkä vuoksi vähäinenkin ulkopuolinen sähkö häiritsee lihasten toimintaa. Sähkövirran vaarallisuus riippuu siitä, kuinka suuri kehon läpi kulkeva virta on ja kuinka kauan virta ehtii vaikuttaa.



Kehon sisäisen impedanssin jakautuminen kehon eri osiin.

Ihmiskehon eri osat muodostavat sähkövirralle vastusta eli impedanssia, joka koostuu resistiivisistä ja kapasitiivisistä komponenteista. Kehon eri osien impedanssit vaihtelevat monien eri tekijöiden mukaan. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi virran vaikutusaika, virran tie kehoon, taajuus ja ihon kosteus. Suuremmilla kosketusjännitteillä ihon impedanssi vaikuttaa kehon kokonaisimpedanssiin yhä vähemmän. Kokonaisimpedanssi riippuu taajuudesta, minkä vuoksi kehon kokonaisimpedanssi on suurempi tasavirralla ja pienenee taajuuden kasvaessa.

Vaihtovirran vaikutus

Muutaman milliampeerin virta on yleensä vaaraton, mutta sen aiheuttama sähköisku voi säikäyttää ja aiheuttaa esimerkiksi tikkailta putoamisen. Jo 10 mA:n virta kuitenkin aiheuttaa lihaskouristuksia tai halvaannuttaa hengityslihakset. Kun sähkövirta kasvaa, saattaa syntyä syviä palovammoja virran sisäänmeno- ja ulostulokohtiin ja sisäelimissä saattaa tapahtua kiehumista ja hiiltymistä. Suomessa vaihtovirran taajuus on 50 Hz. Tällä taajuudella tapahtuvissa tapaturmissa yleisin kuolinsyy on kuitenkin sydänkammiovärinä. Sydänkammiovärinän raja-arvo on erittäin alhainen, jos virran vaikutusaika ylittää sydämen toimintajakson. Tämä raja-arvo riippuu muun muassa sydämen toimintakunnosta, virran kestosta ja virran kulkutiestä.

MÄÄRITELMIÄ

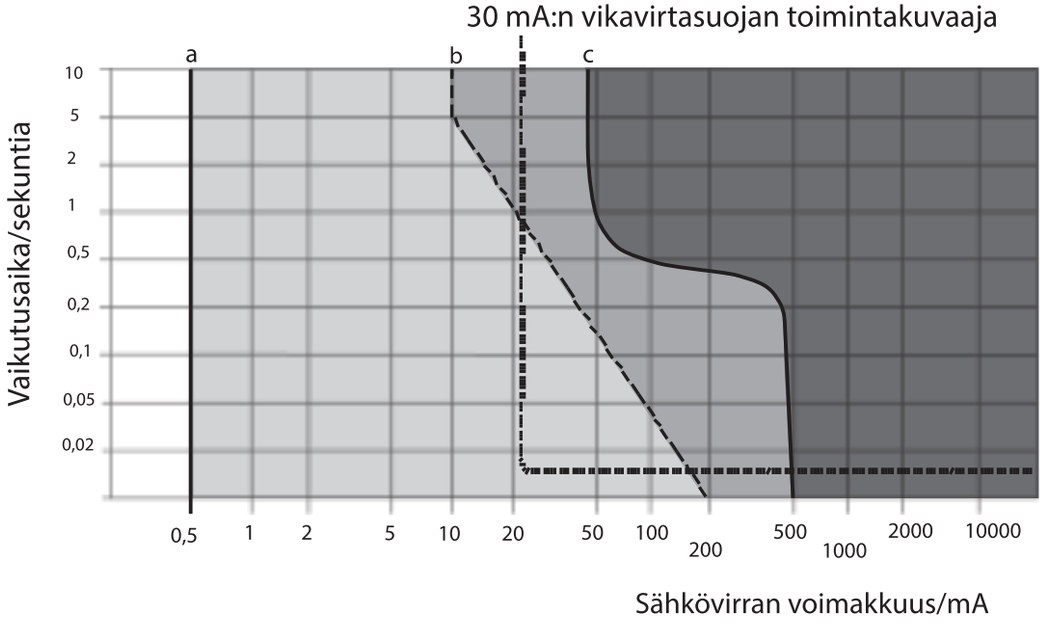
Tuntoraja = virran minimiarvo, jossa tuntee virran sen kulkiessa kehon läpi

Reaktioraja = virran minimiarvo, jonka seurauksena tulee tahdosta riippumattomia lihasliikkeitä

Kouristusraja = virran maksimiarvo, jossa voi vielä irrottaa otteensa jännitteisistä osista

Sydänkammiovärinän raja-arvo = virran minimiarvo, joka aiheuttaa sydänkammiovärinän

Vaihtovirran vaikutus ihmiseen:

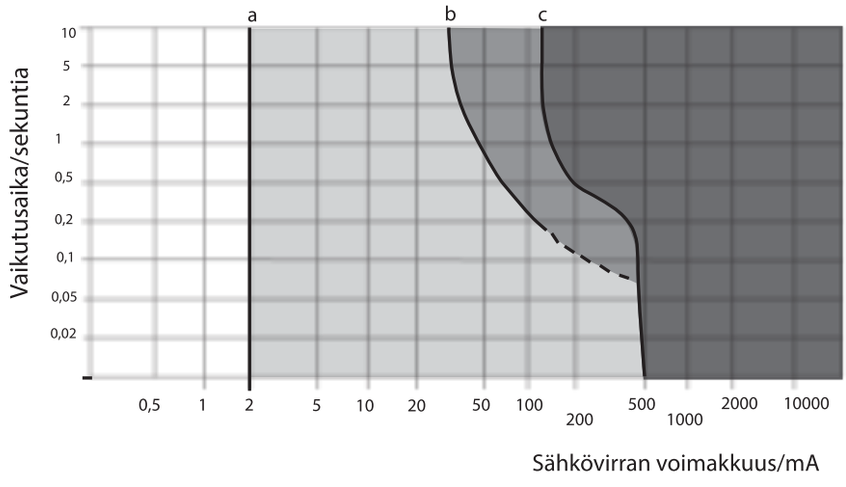


Alue	Vaikutus ihmiskehoon
a	Tuntoraja. Sähkö tuntuu nipistelynä.
a–b	Kipuja lihaksissa, sormissa ja käsivarsissa. Kouristusrajaan asti on mahdollista irrottautua jännitteellisistä osista. Ei haitallisia fysiologisia vaikutuksia.
b–c	Hengitys- ja sydänlihasten kouristuksia, voimakkaita supistuksia käsivarsilihaksissa ja hengitysvaikeuksia, kun vaikutusaika on muutamista sekunneista minuutteihin. Lisäksi saattaa esiintyä palovammoja. Ei sydämen kammiovärinää, jos kesto on sydänjaksoa lyhyempi.
< c	Virran ja sen vaikutusajan kasvaessa lisääntyvät vaaralliset fysiologiset vaikutukset, kuten sydänkammiovärinä, sydän- ja hengityslihasten kouristukset ja palovammat. Sydänkammiovärinän kannalta vaarallisin virtatie on vasemmasta kädestä jalkoihin.

Tasavirran vaikutus

Tasavirtaonnettomuudet ovat harvinaisempia kuin vaihtovirtaonnettomuudet. Kuolemaan johtaneita onnettomuuksia myös sattuu tasavirralla erittäin harvoin. Tämä johtuu osittain siitä, että tasavirralla on helpompi irrottautua jännitteisistä osista kuin vaihtovirralla. Asiaan vaikuttaa myös se, että kammiovärinän raja-arvo on tasavirralla huomattavasti suurempi kuin vaihtovirralla.

Tasavirran vaikutus ihmiseen:



Alue	Vaikutus ihmiskehoon
a	Tuntoraja
b–c	Palautuvia sydämen toimintahäiriöitä
> c	Vaarallisia palovammoja ja sydänkammiovärinän vaara

Sähkötapaturmat

Maallikon tapaturmat

Maallikoiden sähkötapaturmat johtuvat omista virityksistä tai viallisesta laitteesta. Maallikoille sattuu hieman enemmän sähkötapaturmia kuin sähköalan ammattilaisille. Sähkötapaturmat ovat kuitenkin vähentyneet huomattavasti voimakkaan valistuksen myötä.

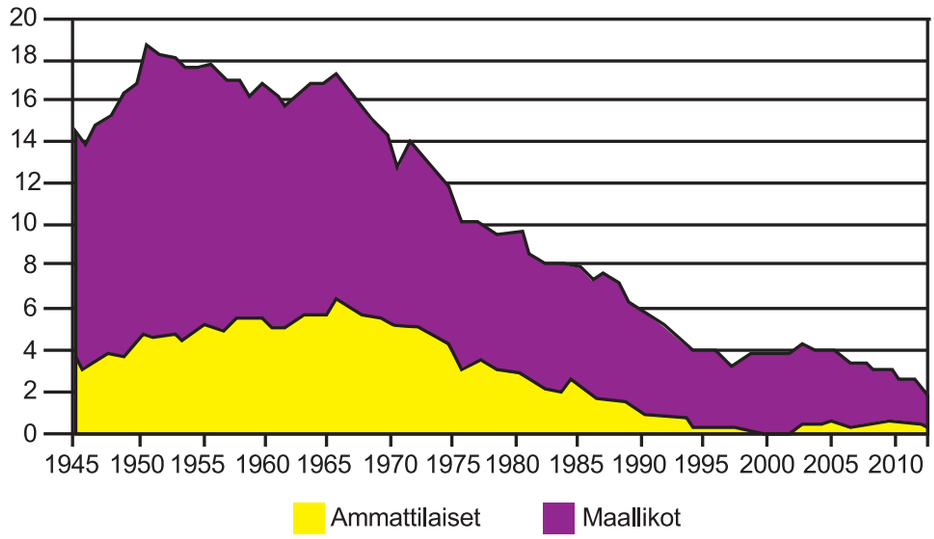
Sähköalan ammattilaisten tapaturmat ja tapaturmien ehkäisy

Sähköalan ammattilaisten sähkötapaturmat johtavat harvoin kuolemaan. Useimmiten ne ovat tikkailta putoamisia tai muuta pelästyksestä aiheutuvia onnettomuuksia. Sähköalan ammattilaisten kuolemaan johtaneet sähkötapaturmat ovat vähentyneet sitä mukaa kun sähkötyöturvallisuuskoulutusta on alettu antaa. Jokaisen sähköalalla työskentelevän on käytävä sähkötyöturvallisuuskoulutus viiden vuoden välein.

▲ Sähkötyöturvallisuuskortti

Ammattilaisten ja myös maallikoiden onnettomuudet jakautuvat tasaisesti teollisuusympäristöissä, julkisissa tiloissa, asuinrakennuksissa ja ulkotiloissa tapahtuviin onnettomuuksiin. Tämä on ammattilaisten osalta ymmärrettävää, mutta on yllättävää, että maallikoiden onnettomuuksista vain alle kolmasosa tapaturmista on tilastoitu kotioloissa tapahtuneeksi. Asiaan vaikuttaa se, kuinka paljon tapaturmista ilmoitetaan Tukesille.

Kuolemaan johtaneita tapaturmia sattuu muutamia vuosittain. Oheisessa kuvaajassa on tilastoitu kuolemaan johtaneita tapaturmia vuodesta 1945 alkaen, jolloin niitä sattui paljon niin ammattilaisille kuin maallikoillekin. Valituksen ansiosta tapaturmat on aikaa myöten saatu vähenemään oleellisesti. Nykyään ammattilaisille sattuu vakavia tapaturmia enää vähän mutta maallikoille niitä sattuu edelleen jonkin verran.



▲ Kuolemaan johtaneet sähkötapaturmat vuosina 1945–2014 (mukailtu lähteestä Tukes 2015)

Tärkein asia asennuksia tehtäessä on asentajan oma asenne. Sähköasennuksia ei koskaan tule tehdä kiireisesti. Oikea asenne on sähköturvallisuuden kannalta tärkeä, ja se myös ehkäisee tapaturmia parhaiten. Mitkään ohjeet ja säännökset eivät auta, jos niitä ei noudateta.

TEHTÄVIÄ

1 Sähkötapaturmien perussyitä ovat

- vioittunut laite tai asennus
- määräysten vastainen laite tai asennus
- määräysten vastainen menettely.

Tutki seuraavia sähkötapaturmia (1–10) ja kerro tapauksittain, mikä oli tapaturman perussyy ja miten tapaturma olisi voitu välttää.

1. Mies kiipesi aamuyöllä ratapihalla seisseen tyhjän rikkihappovaunun katolle. Hän joutui liian lähelle suurjännitejohtoja ja kuoli voimakkaaseen valokaareen.

2. Maallikko kuoli kotonaan sähköiskuun, jonka hän sai itse rakentamastaan, monilta osin kosketussuojaamattomasta valaisimesta.

TEHTÄVIÄ

3. Maallikko sai kuolemaan johtaneen sähköiskun kotipihassaan koskettaessaan metallista jatkojohtokelaa. Kela oli tullut jännitteiseksi siihen kulkeneen jatkojohdon virheellisestä kytkennästä.

4. Mies menehtyi asunnossaan omatoimisen keittiöremontin yhteydessä. Hän sai sähköasennusten jännitteisestä johdosta sähköiskun, joka kulki kädestä käteen. Mies kuoli sairaalassa.

5. Mies oli ollut korjaamassa autoaan, ja hänet löydettiin sen alta kuolleena. Sähköisku oli todennäköisesti tullut jännitteisestä kompressorilaitteen kuoresta.

6. Mies oli kotonaan rakentamassa terassia sateisella säällä. Poratessaan hän yhtäkkiä kaatui maahan. Hänet vietiin sairaalaan, ja hän kuoli siellä myöhemmin. Porakoneen liitäntäjohto todettiin haurastuneeksi, ja siihen oli kiinnitetty rautalangalla istukankiristin.

7. Verkkoyhtiön kolmesta sähköasentajasta koostunut työryhmä oli asentamassa sähköliittymien etäluennan käyttöönottoon liittyvää laitetta 20 kV:n pylväsmuuntajan kanteen. Työkohde erotettiin muuntajaerottimella (kuormanerotin) ja erottimen avausväli tarkastettiin silmämääräisesti. Muuntajan jännitteettömyyttä ei kuitenkaan varmistettu eikä kohdetta työmaadoitettu ennen töiden aloittamista, minkä seurauksena yksi sähköasentajista sai muuntajaa syöttävästä johdosta tappavan sähköiskun. Johdin oli jännitteinen, koska muuntajan pylväserottimen kolmesta vaiheesta yksi ei ollut auennut.

8. 19-vuotias nuori mies oli mennyt luvattomasti metroradalle. Vastustellessaan poishakuyritystä hän oli ilmeisesti tarttunut kiinni virtakiskosta ja saanut kuolettavan sähköiskun. Virtakisko on yläpuolelta suojattu muovilla mutta alapuolelta avoin.

→ **TEHTÄVIÄ**

9. Betonipumppausauton puomi osui 20 kV:n sähkölinjaan omakotitalotyömaalla, ja auton kuljettaja sai kuolettavan sähköiskun. Kuljettaja oli saanut kuorman purettua, ja hän oli kauko-ohjaimen avulla laskemassa 24 m:n pituista puomia alas kuljetusasentoon, kun puomi osui sähkölinjaan. Tiedossa ei ole koskettiko uhri autoon puomin osumahetkellä vai myöhemmin. Tapaturma sytytti uhrin vaatteet palamaan. Myös yksi auton renkaista tuhoutui. Paikalla olijoista ainakin osa altistui sähkölle heidän yrittäessään avustaa uhria. Ilmeisesti hyvin kuivan soramaan ja auton tukijalkojen alla olevien eristävien levyjen takia maasulkuvirta jäi niin pieneksi, ettei sähköverkon maasulkusuojaus laukaissut johtoa jännitteettömäksi. Auto oli pysäköity liian lähelle ilmajohtoa, vaakasuunnassa noin 1 m:n etäisyydelle.

10. Onkija sai onkikilpailun aikana kuolettavan sähköiskun 20 kV:n avojohdosta hiilikuituvavan välityksellä. (Mukailtu lähteestä Tukes 2015.)

Sähköisku

Sähköisku aiheutuu, kun sähkövirta kulkee ihmisen läpi. Tällainen tilanne syntyy, kun ihminen koskettaa samanaikaisesti jännitteistä osaa ja jotain hyvin sähköä johtavaa materiaalia.

Verkkovirrasta saatu sähköisku on hyvin vaarallinen ja voi pahimmassa tapauksessa johtaa kuolemaan.

electric shock	sähköisku
hazard	vaara
contact	kosketus
source of electricity	sähkön lähde

Electrical Hazard – Shock

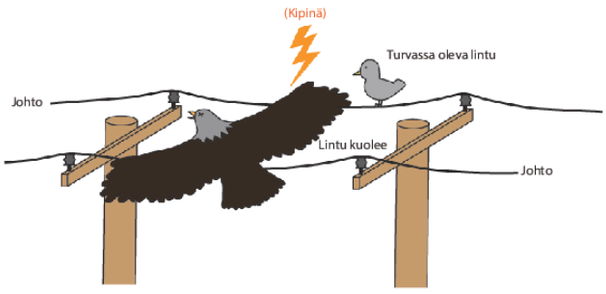
Electric shock occurs upon contact of a (human) body with any source of electricity that causes a sufficient current through the skin, muscles, or hair

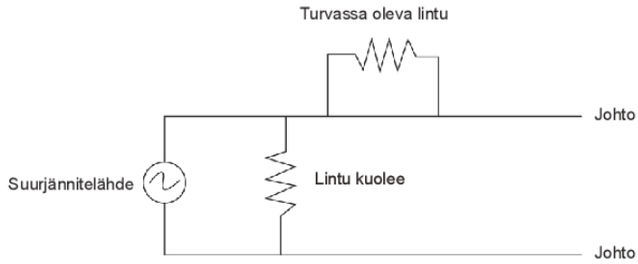
TEHTÄVIÄ

1. Mistä johtuu, että maallikoille sattuu enemmän sähköiskutapaturmia ja ammattilaisille taas enemmän valokaaritapaturmia?

2. Kuvassa näkyy viisi vaaran paikkaa. Etsi ne ja kerro, miten ne voitaisiin ehkäistä.

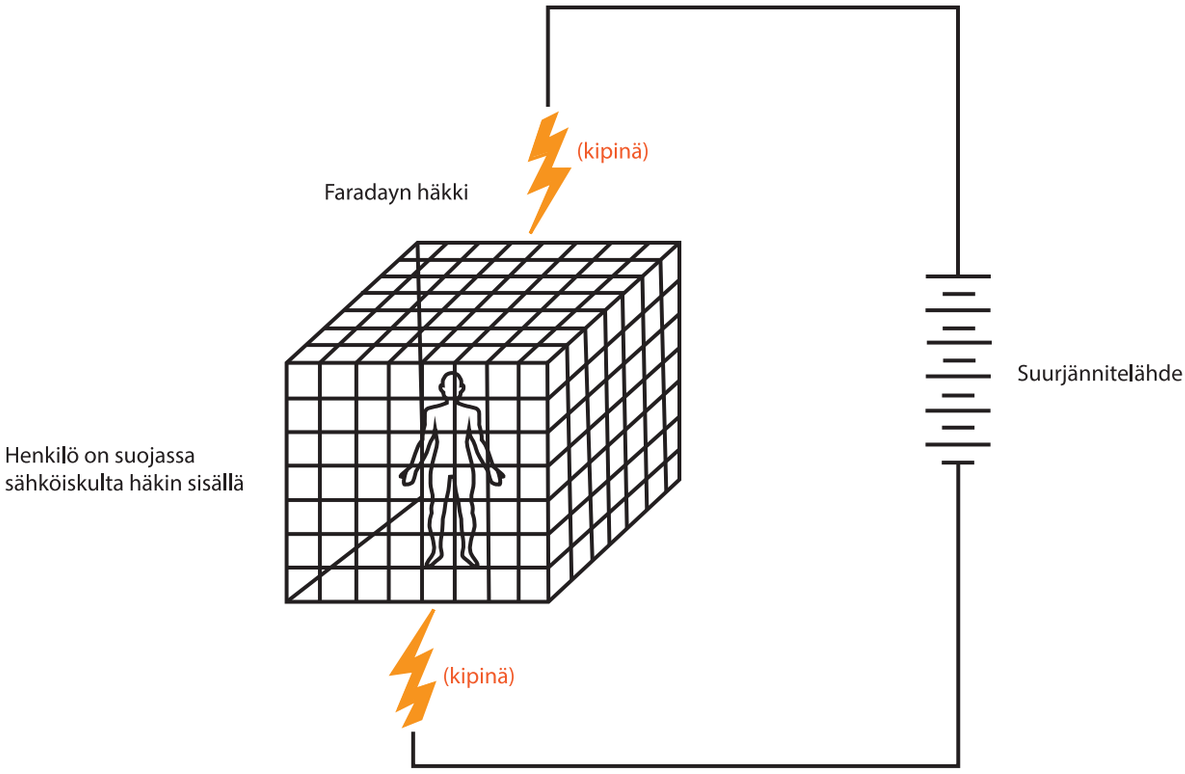
3. Miksi lintu ei saa sähköiskua, vaikka sen molemmat jalat koskettavat johtoa? Entä miksi lintu saa sähköiskun, jos sen siivet osuvat samanaikaisesti kahteen eri sähköjohtoon?





TEHTÄVIÄ

4 Faradayn häkiksi kutsuttu turvalaite suojaa sähköiskulta ketä tahansa, joka on häkin sisällä. Faradayn häkki on tehty lähekkäin olevista metallisista tangoista. Selitä sähkötekniikan periaatteiden mukaan, miten maapiste suojaa ihmistä Faradayn häkin sisällä, vaikka häkin metallissa kulkee suuri jännite. Keskustele lisäksi parin kanssa siitä, kuinka tämä sääntö käyttäytyy esimerkiksi metallirunkoisissa autoissa.



Työturvallisuus

Työturvallisuus käsittää hyvän ja turvallisen työympäristön sekä ajanmukaiset ja turvalliset suojavarusteet. Sähköalan toimijat ovat tehneet yhteisen turvallisuuskampanjasivuston, jonka tavoitteena on lisätä työturvallisuutta sähköjohtojen läheisyydessä: http://www.hengenvaara.fi/

Työturvallisuuskoulutus ei ole pakollista koulutusta, mutta monet yritykset haluavat sen suoritettavaksi. Työturvallisuuskortti suoritetaan viiden vuoden välein.

Työturvallisuuskortti

Valttikortti

Rakennusalalla, johon myös sähköala kuuluu, on käytössä sirullinen kulunseurantaan tarkoitettu älykortti eli Valttikortti. Rakennustyömailla työskentelevät tarvitsevat Valttikortin, jonka saa työnantajalta. Opiskelijat saavat kortin koulusta, kun he lähtevät työssäoppimaan.

Sähköasentajan henkilökohtaiset työvaatteet ja suojaimet

Sähköasentajan työssä on käytettävä suojavarusteita, jotka ovat tyyppitarkastettuja ja CE-merkinnällä varustettuja. Työnantajan velvollisuus on arvioida, mitä suojavarusteita työssä tarvitaan. Sähköalalla noudatetaan rakennustyömaiden määräyksiä.

Sähköalalla tarvittavia suojavarusteita ovat

- suojavaatetus
- leukahihnallinen suojakypärä
- turvakengät
- kuulosuojaimet
- suojalasit
- suojakäsineet.

Suojaimia tulee huoltaa, säilyttää ja tarpeen mukaan testata käyttöohjeiden mukaisesti, jotteivät niiden suojausominaisuudet heikkene.

Sähköalan töitä tehdään sekä kylmissä että kuumissa olosuhteissa, joten suojavaatetuksen pitää aina olla olosuhteiden mukaan valittu. Esimerkiksi valokaarivaarallisissa töissä suojavaatteiden pitää olla palonkestäviä.

Suojakypärä

Turvakengät

Kuulosuojaimet

Suojalasit

Käsineet

Ensiapu sähkötapaturmissa

Jokaisen sähköalalla työskentelevän pitää suorittaa SPR:n hätäensiapukurssi, joka uusitaan kolmen vuoden välein. Sähköalan hätäensiapu keskittyy sähkötapaturmien ensiapuun. Ensiapuohjeet ovat esillä jokaisen sähköalan työsalin, sähkölaitekorjaamon ja sähkölaboratorion seinällä.

Hätäensiapukortti

Sähkötapaturman sattuessa on sähköiskun saanut irrotettava sähkölaitteesta nopeasti. Ennen kuin uhria aletaan irrottaa paljain käsin, täytyy virta katkaista. Jos virtaa ei saa katkaistuksi, uhri voidaan irrottaa laitteesta sähköä johtamattoman esineen, esimerkiksi kuivan puukepin tai kumisaappaan, avulla. Kun uhri on irrotettu sähkölaitteesta, hälytetään apua numerosta 112 ja tarkistetaan, hengittääkö hän ja lyökö hänen sydämensä. Tarvittaessa elvytys aloitetaan välittömästi.

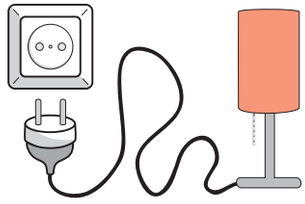
Sähköiskun saanut toimitetaan aina välittömästi jatkohoitoon, vaikkei hänellä olisikaan näkyviä vammoja. Vammojen ensiavun ja hoidon lisäksi selvitetään uhrin mahdolliset hermoston, sisäelinten ja verenkiertoon liittyvät vauriot. Sähköiskun aiheuttama lihas- tai hermokudosvaurio voi kehittyä vasta vuorokaudenkin kuluttua.

▲ Sähkötapaturman ensiapu -taulu

Sähköiskulta suojautuminen

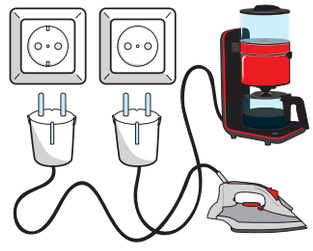
Kuluttajaa suojataan sähkölaitteesta eri tavoin johtuvilta sähköiskuilta. Suojaus voidaan toteuttaa

- peruseristämällä sähkölaite



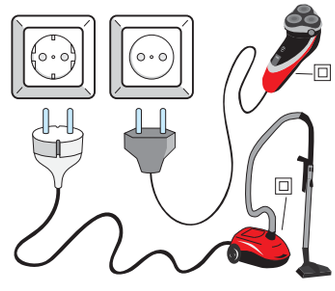
Tavallisella pistotulpalla varustetussa sähkölaitteessa on peruseristys, joka suojaa käyttäjää laitteen jännitteisiltä osilta. Laitetta saa käyttää vain niissä tiloissa, joissa on tavalliset pistorasiat.

- suojamaadoittamalla sähkölaite



Suojamaadoitetun laitteen pistotulppa on kytketty suojajohtimen kautta maadoitukseen.

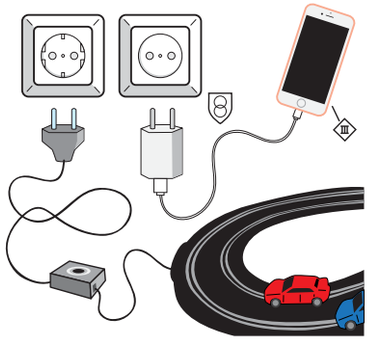
- suojaeristämällä sähkölaite



Suojaeristetyssä laitteessa on peruseristyksen lisäksi lisäeristys. Suojaeristetyssä laitteessa on merkki ⧈.

- suojaamalla sähkölaite suojajännitteellä.

Suojajännitteellisen laitteen jännite on hyvin pieni, eikä siitä koidu hengenvaaraa, vaikka käsi osuisikin jännitteelliseen osaan.

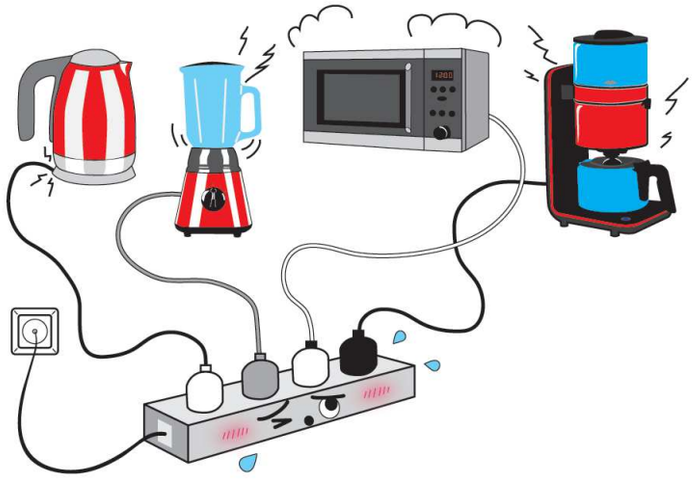


Tulppasulake

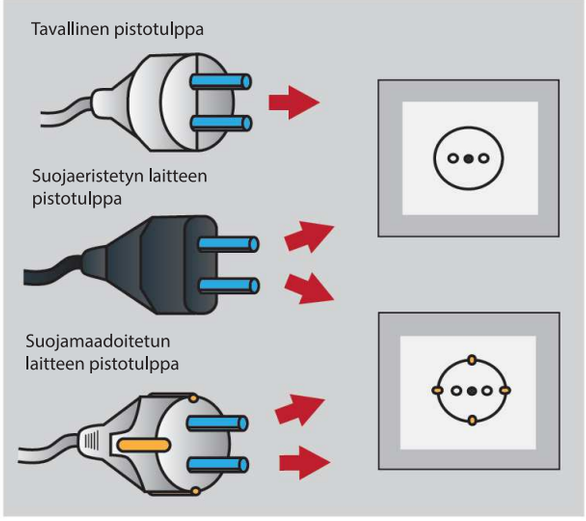
Sulakkeet

Sulake suojaa sähkön käyttäjää sähkötapaturmavaaralta, jos käytettävään laitteeseen tulee vika. Se estää myös tulipaloja estämällä sähköjohtojen ylikuumenemisen. Palaneen tulppasulakkeen tilalle vaihdetaan uusi sulake ja automaattisulake palautetaan toiminta-asentoon.

Automaattisulake eli johdonsuojakatkaisija



Muista, että liian monen sähkölaitteen samanaikainen käyttö voi olla vaarallista. Älä ylikuormita sulakkeita.



Pistotulpat

Tavallinen pistotulppa, jossa ei ole suojamaadoitusta, sopii suojamaadoittamattomaan pistorasiaan. Suojamaadoitettu pistotulppa taas sopii vain suojamaadoitettuun pistorasiaan. Suojaeristetyn laitteen pistotulppa sopii sekä suojamaadoittamattomaan että suojamaadoitettuun pistorasiaan.

Käsitteitä

Maallikko henkilö, jolla ei ole sähköalan koulutusta tai työkokemusta ja jota ei ole opastettu tekemään sähköalan töitä

Opastettu henkilö

a) henkilö, joka on kouluttautumassa sähköalalle alan koulussa ja jolla on sähköalan koulutusta jonkin verran ja työkokemusta alalta mutta joka kuitenkaan ei vielä täytä itsenäiseen työhön kykenevän ammattihenkilön vaatimuksia

b) maallikko, jota sähköalan ammattilaiset ovat opastaneet tekemään tiettyä sähköalan työtä aiheuttamatta vaaraa eri olosuhteissa

Ammattitaitoinen henkilö henkilö, jolla on oman alansa sähkötyöhön soveltuva koulutus tai työkokemus, jonka perusteella hän kykenee arvioimaan tekemäänsä työhön liittyvät riskit, työskentelemään itsenäisesti ja välttämään mahdolliset sähkön aiheuttamat vaarat.

Sähkötyö sähkölaitteen korjaus- ja huoltotyöt sekä sähkölaitteiden rakennus-, korjaus- ja huoltotyöt ja niihin kuuluvat käyttöönottotarkastukset

Käyttötyö sähkölaitteiston käyttötoimet, niihin verrattavat korjaus- ja huoltotyöt sekä sähkölaitteistoon kohdistuvat tarkastustoimet. Käyttötoimet muuttavat sähkölaitteiston sähköistä tilaa. Niitä ovat esimerkiksi laitteiston käynnistys, pysäytys ja käyttö.

Itsenäinen työskentely sähkötöiden tekeminen yksin. Riittävän ammattitaitoinen henkilö hallitsee työn ja työmenetelmät siten, että hän voi tehdä yksin töitä turvallisesti.

Sähkötöiden johtaja henkilö, joka vastaa yrityksessä sähköturvallisuudesta. Sähkötöiden johtajalla täytyy olla pätevyystodistus (SP1, SP2 tai SP3).

Käytön johtaja suurten sähkölaitteistojen käyttötöitä varten nimettävä johtaja. Käytön johtaja on aina nimettävä nimellisjännitteeltään yli 1000 V:n suurjännitelaitteistoille ja pienjännitelaitteistoille, joilla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle rakennettuja liittymiä, joiden liittymisteho on yli 1600 kVA.

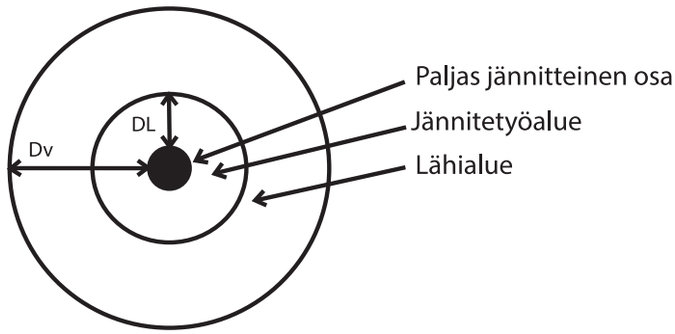
Käytöstä vastaava henkilö henkilö, jolla on toiminnallinen vastuu sähkölaitteiston käytöstä. Käytöstä vastaava henkilö huolehtii muun muassa sähköisten tilojen käytöstä ja niiden lukitsemisesta.

Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvoja henkilö, joka valvoo sähkötyöturvallisuutta työn aikana, osallistuu itse työhön tai tekee sen kokonaan itse. Työnaikaisen sähköturvallisuuden valvojan tulee olla itsenäiseen työhön kykenevä sähköalan ammattilainen.

Työalue alue, joka on määritelty ja merkitty selkeästi sähkötöiden tekoa varten

Jännitetyö työ, jossa työntekijä on kosketuksissa paljaisiin jännitteisiin osiin tai ulottuu jännitetyöalueelle jollakin osalla kehoaan tai käsittelemillään työkaluilla, varusteilla tai laitteilla

Jännitetyöalue paljaita jännitteisiä osia ympäröivä alue. Alueelle on määritelty tarkat rajat jännitteisten osien ympärillä. Jännitetyöalueen mitat määritellään käytettävän nimellisjännitteen mukaan. Mitä suurempi jännite on, sitä suurempi on jännitetyöalue



▲ D_L = etäisyys, joka määrittelee jännitetyöalueen ulkoreunan
D_V = etäisyys, joka määrittelee lähialueen ulkoreunan

Lähialue jännitetyöaluetta ympäröivä alue. Lähialue mitataan jännitetyöalueen ulkoreunasta, ja sen koon määrittelee jännitteisen osan jännitetaso.

Työskentely jännitteisten osien läheisyydessä kaikki työ, jossa työntekijä on lähialueen sisällä tai ulottuu sille jollakin kehonsa osalla tai käsittelemillään työkaluilla, varusteilla tai laitteilla muttei ulotu jännitetyöalueelle.

Työskentely jännitteettömänä tietyt toimenpiteet, joilla varmistetaan, että työkohde on ja pysyy jännitteettömänä koko työn ajan

Täydellinen erottaminen työkohteena olevan sähkölaitteiston osan erottaminen kaikista sähkönsyötöistä käyttämällä ilmaväliä tai sitä vastaavaa eristystä siten, että erotuskohta ei petä sähköisesti (estetään läpilyönnin syntyminen)

Pienoisjännite jännite, joka on normaalisti alle 50 V AC tai 120 V DC johtimien tai johtimen ja maan välillä

Pienjännite jännite, joka on normaalisti alle 1000 V AC tai 1500 V DC

Suurjännite jännite, joka on normaalisti alle 1000 V AC tai 1500 V DC

2 Tekniset piirustukset

Tässä luvussa
- **käsitellään kone- ja sähköpiirustusten lukemista ja piirtämistä**
- **tutustutaan elektroniikan ja rakennuspiirustuksien lukemiseen**
- **tutustutaan kansallisiin SFS-standardeihin, joiden avulla kuka tahansa alansa ammattilainen osaa työstää piirustuksessa esitetyn koneen osan tai rakentaa elektronisen laitteen kytkentäkaavion perusteella.**

Kappaleiden ja koneiden piirustukset

Seuraavassa tutustutaan koneenpiirustusten piirtämiseen ja kuvien lukemiseen. Piirustus piirretään tai tulostetaan jollekin standardissa määritellylle arkkikoolle. Pohjana käytetään SFS 4415:n mukaisesti A-sarjan arkkikokoja. Lähtökohtana on A0-koko, jonka pinta-ala on 1 m^2.

ESIMERKKI

Arkkikoko	Mitat/mm
A0	841 x 1189
A1	594 x 841
A2	420 x 594
A3	297 x 420
A4	210 x 297

Mittakaava

Piirustus piirretään aina mittakaavassa, jotta suurempikin koneen osa voidaan esittää. Pienemmät koneen osat, jotka mahtuvat valittuun arkkikokoon järkevästi, piirretään luonnolliseen mittakaavakokoon eli kokoon 1:1. Merkintä 1:1 tulkitaan siten, että esimerkiksi 1 cm kuvassa vastaa 1 cm:ä osan

luonnollisessa koossa. Osan kuvaa ei kuitenkaan aina voida piirtää luonnollisen kokoisena, jolloin se on piirrettävä pienempänä. Ammattikielessä näistä käytetään nimitystä pienennös.

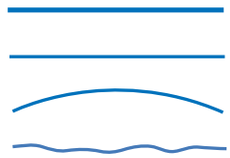
SFS-standardi määrittelee vakiona käytettäviksi pienennössuhteiksi 1:2, 1:5, 1:10, 1:50, 1:100, 1:200, 1:500 ja 1:1000. Oletetaan, että kappaleen piirustus on piirretty mittakaavassa 1:10. Tällöin piirustuksessa jokainen ääriviiva on kymmenesosa kappaleen luonnollisesta mitasta.

Toisinaan taas koneen osa on luonnollisessa koossa niin pieni, että se piirretään suurennettuna. SFS-standardi määrittelee käytettäviksi suurennossuhteiksi 2:1, 5:1 ja 10:1.

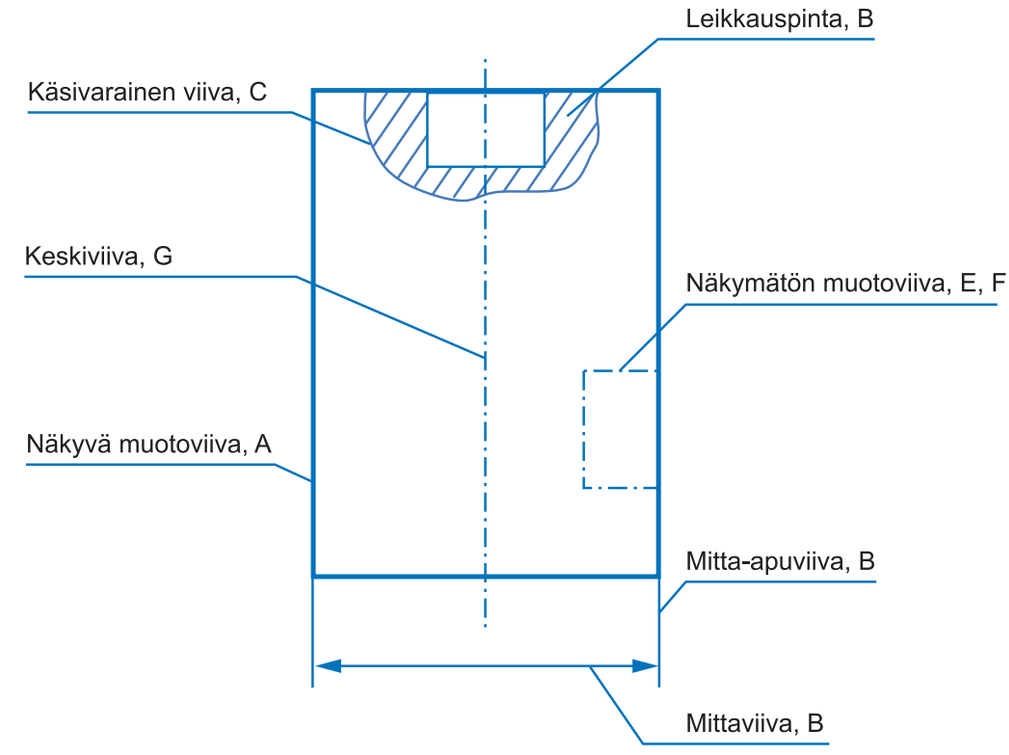
Aina on kuitenkin huomioitava, että kirjoitettavat mittaluvut esitetään piirustuksessa luonnollisen kappaleen todellisina mittoina.

Viivalajit

SFS-standardi 3703 määrittelee käytettävät viivatyypit ja viivaleveydet. Leveän ja kapean viivan suhde ei saa olla pienempi kuin 2:1. Viivojen kirjaimet (A, B, C, jne.) määräytyvät standardista.

Ehyet viivat Leveä, näkyvät muoto- ja ääriviivat, reunat ja rajat Kapea, mittaviivat, mitta-apuviivat, viiteviivat, leikkausviivoitus Kapea käsivaraisviiva, osaprojektioiden ja -leikkausten rajat		A, leveä B, kapea suora kapea kaari C, kapea käsivarainen
Katkoviivat Näkymättömät muoto- ja ääriviivat		E, leveä F, kapea
Pistekatkoviiva Keskiviivat, symmetriaviivat		G, kapea J, leveä

▲ Tavallisimmat viivalajit

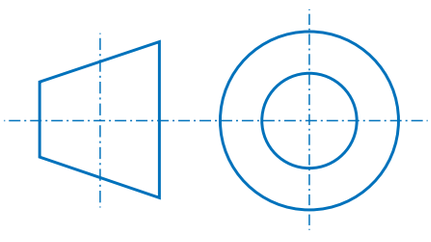


▲ Viivalajien käyttö

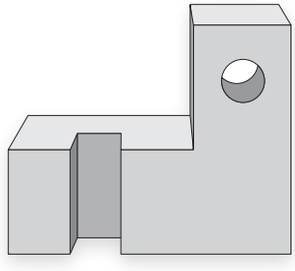
Kohtisuorat projektiot

Kappaletta tai koneen osaa työstettäessä on tärkeätä, että suunnittelija piirtää kattavan määrän kuvia. Kuvista on käytävä selville kaikki tarpeelliset mitat osan valmistamiseksi.

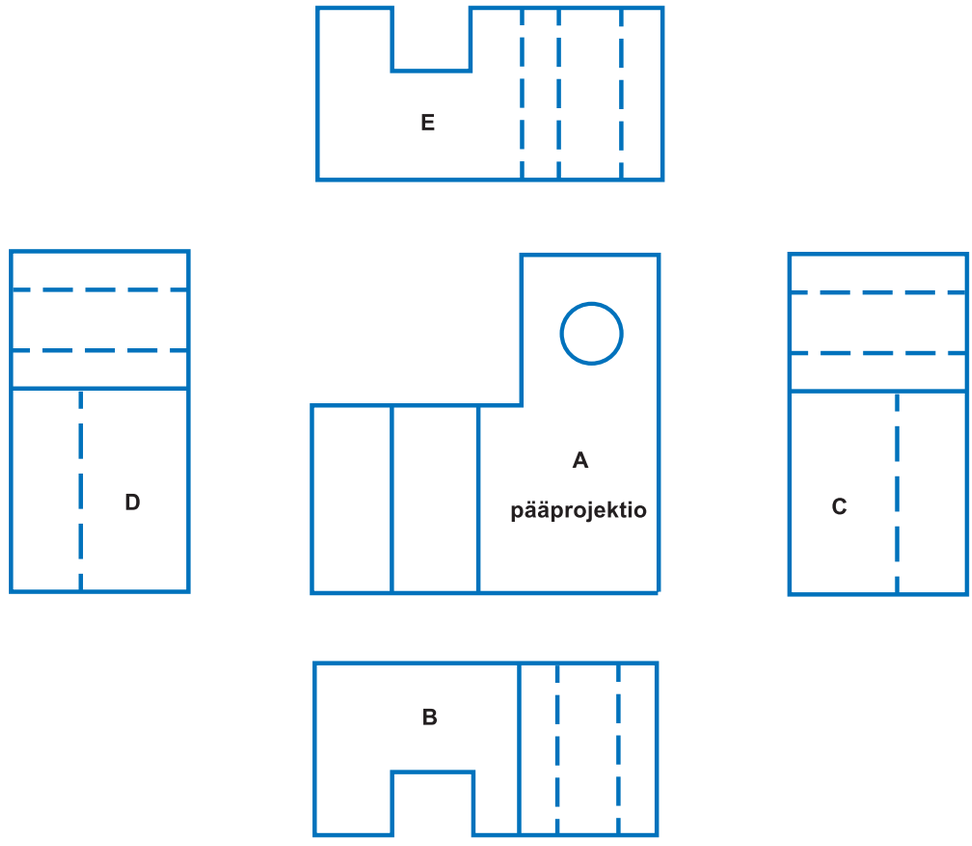
Kaikkia mittoja ei voida laittaa samaan mitoituskuvaan, vaan kappaleesta tai osasta on piirrettävä kuvia riittävän monesta suunnasta. Kappale on piirrettävä tasoon yksiulotteiseksi, jotta sen mitoitus voidaan tehdä. Tätä piirtämistapaa kutsutaan nimellä kohtisuora projektio. Piirustuksen otsikkotaulussa on yleensä yhden käännön menetelmän tunnus.



▲ Yhden käännön menetelmän tunnus



▲ Mitoitettava kappale

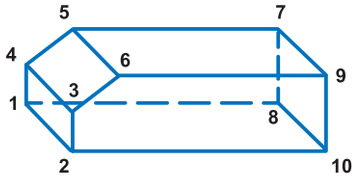


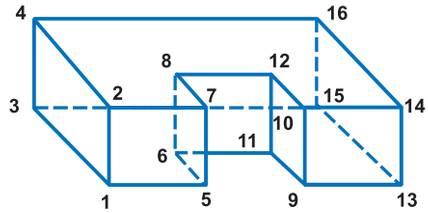
Kohtisuora projektio

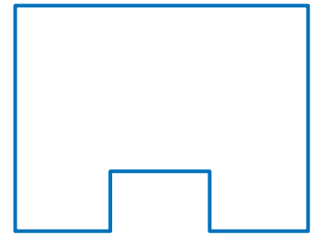
Kohtisuoran projektion piirtämisen sääntöjä:

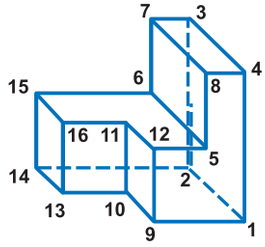
- Kappaleen pääsuuntien on oltava paperin reunojen suuntaiset.
- Kappaleen etupinnan on oltava arkin tason suuntainen.
  Etupinta on esineen pääprojektio.
- Kappaleelle valitaan luonteva asento tai sen käyttöasento.
  (Esim. autoa projisoitaessa pyörät ovat alaspäin.)
- Projektioita piirretään vain niin monta kuin mitoitus vaatii.
- Mitoituksen selkeyttämiseksi voidaan piirtää ylimääräisiä projektioita.
- Pääprojektion asennosta kappaletta käännetään vain 90° suuntaansa.

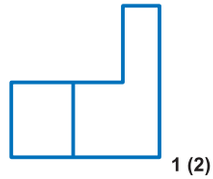
1 Merkitse projektiokuviin nurkkapisteet, siten että piiloon jäävät merkitään sulkuihin.

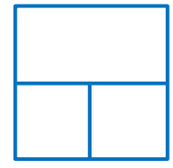


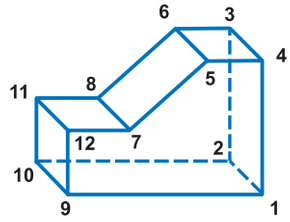


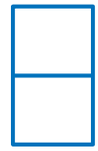






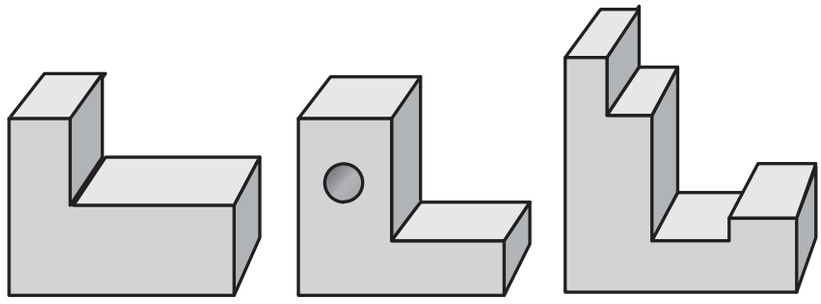






→ TEHTÄVIÄ

2 Piirrä kappaleiden kohtisuorat projektiot.



Mitoitus

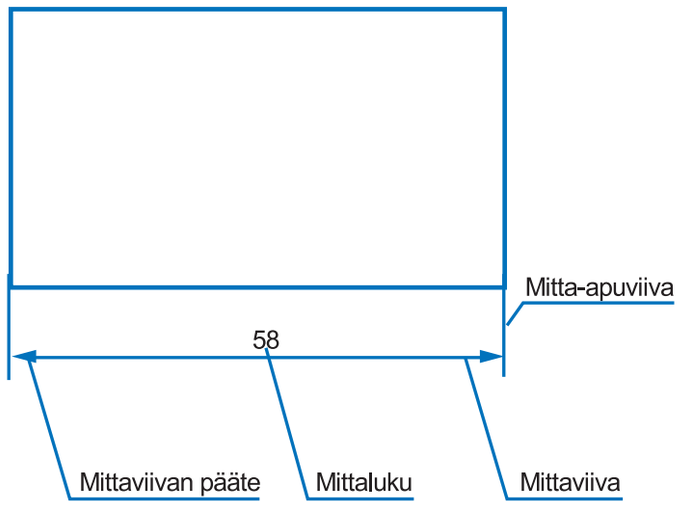
Kappaleen valmistamista varten suunnittelija piirtää siitä kuvat ja mitoittaa sen. Piirustuksen mitat ovat todellisia valmiin tuotteen mittoja. Kuvasta ei saa koskaan mitata mittoja, vaan epäselvässä tapauksessa on käännyttävä suunnittelijan puoleen. Mittojen esittämiseen tarvitaan seuraavia elementtejä: kappaleesta piirretty muoto, johon lisätään mitta-apuviivat, nuolipäinen mittaviiva ja mittaluku. Mittaviiva on muodon suuntainen viiva, jonka kummassakin päässä on terävä nuoli. Mitta-apuviivat siirtävät mittaluvun etäämmälle muotoviivasta. Sopiva etäisyys on yleensä 12 mm. Kun sijoitetaan mittaviivoja samalle puolelle muotoviivaa, rinnan tai allekkain, etäisyys keskinäisille mittaviivoille on 10 mm.

Mittalukujen ja mittaviivojen piirtämissääntöjä:

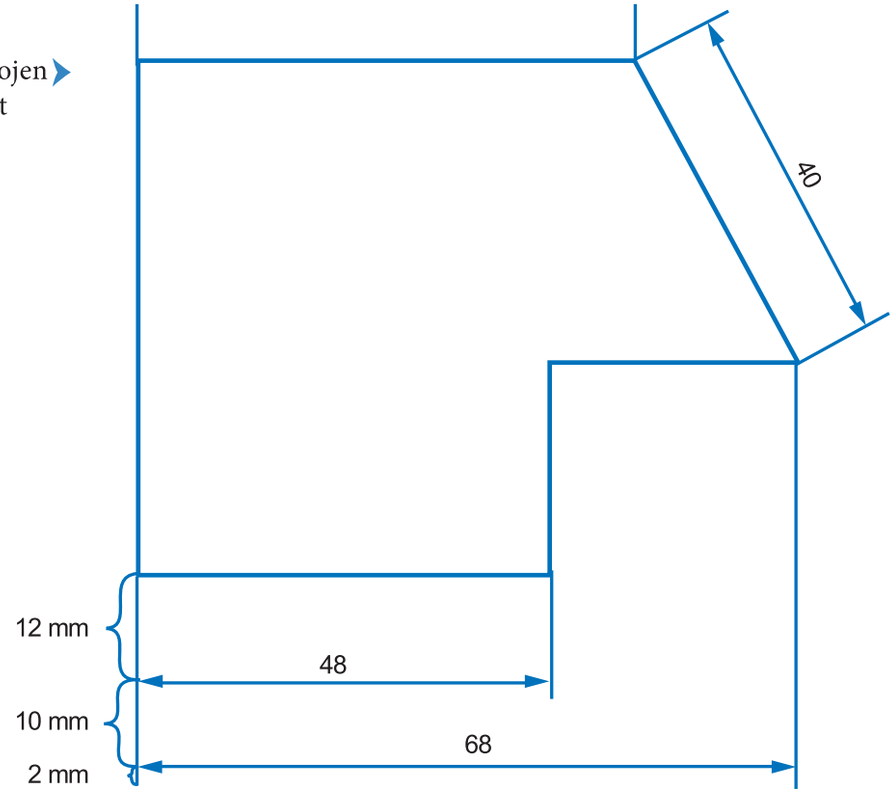
- Pienin mitta on lähinnä muotoviivaa.
- Mitta-apuviiva ei saa leikata muita viivoja.
- Mitta apuviiva on 2 mm ohi mittaviivan nuolenpään.
- Mittaviiva ei saa leikata muita viivoja.
- Mittalukua ei saa mikään viiva leikata.

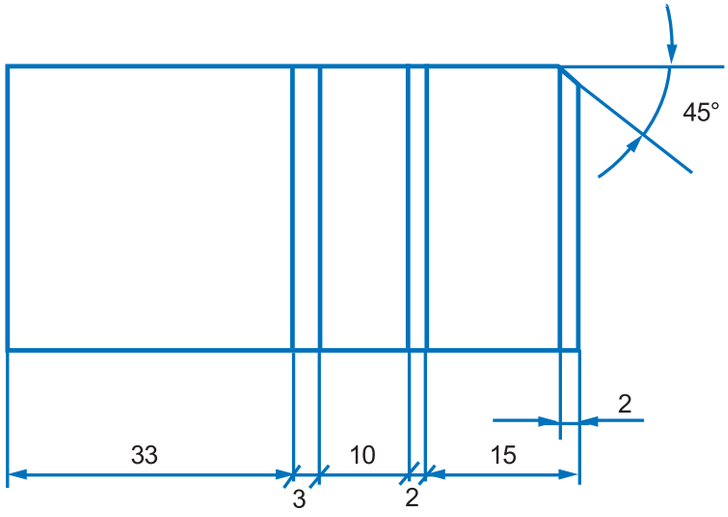
- Kapeassa mitassa nuolenpäät osoittavat mitta-apuviivan ulkopuolelta.
- Mittaluku kirjoitetaan samaan suuntaan kuin mittaviiva.
- Mittaluku kirjoitetaan 1 mm:n etäisyydelle mittaviivasta.
- Mittaluvun kirjoitussuunnat erilaisissa kulmissa ilmenevät oheisesta kuvasta.

Mitoituksen elementit

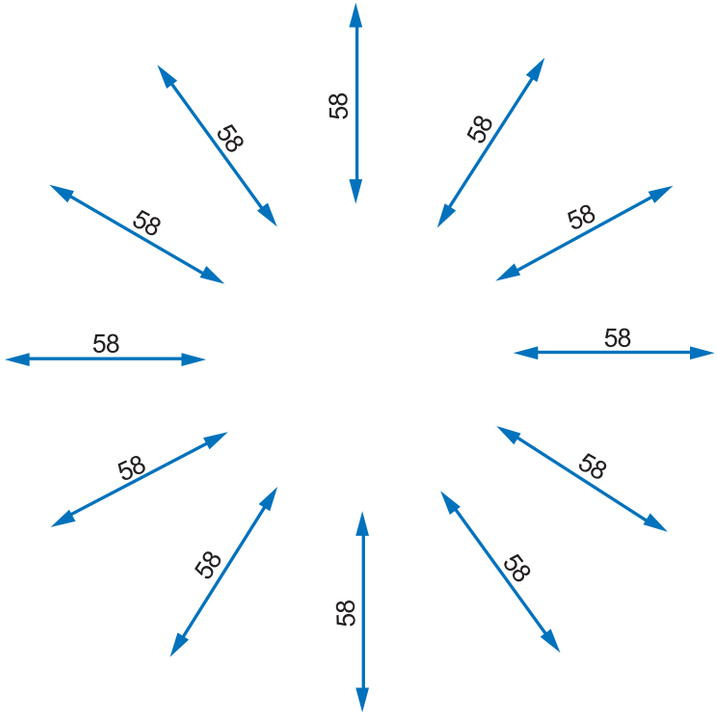


Mittaviivojen etäisyydet





Kapea mitoitus, kulman mitoitus

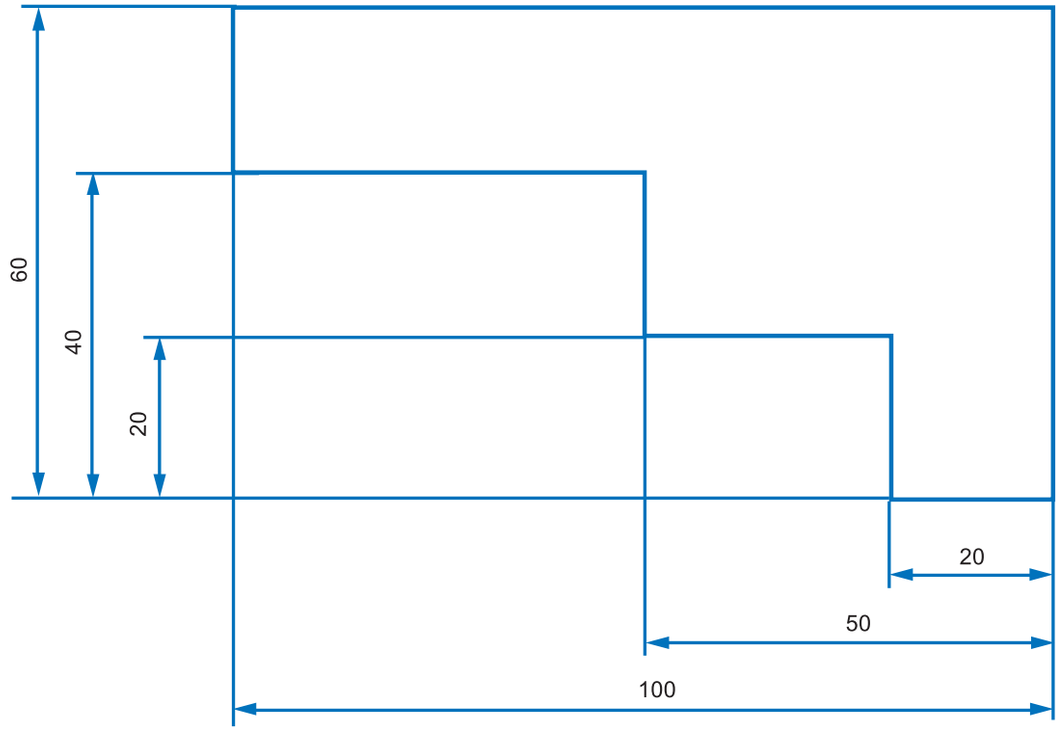


Mittaluvun kirjoitussuunta

Erityistapauksissa kirjoitussuunnista voidaan poiketa.

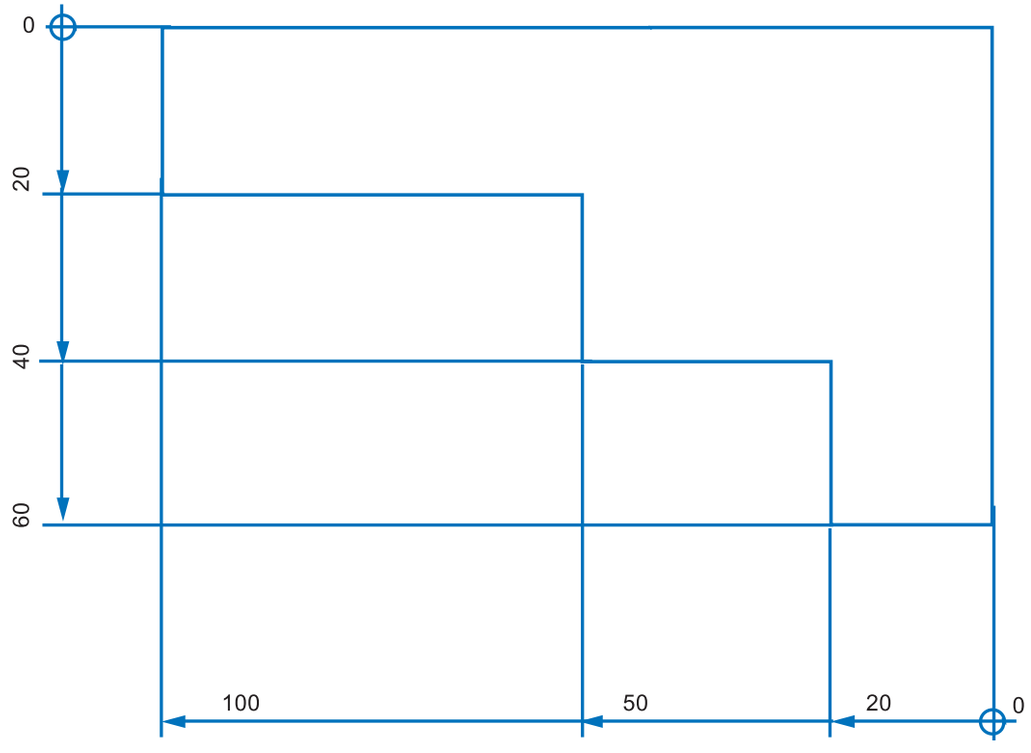
Mitoitustavat

Perusviivamitoituksessa useilla mitoilla on yhteinen perustaso. Perustasona on kappaleen tarkkuuden kannalta tärkeä muotoviiva, kappaleen päätyosassa. Perusviivamitoitus voidaan tehdä yhdensuuntaisena.



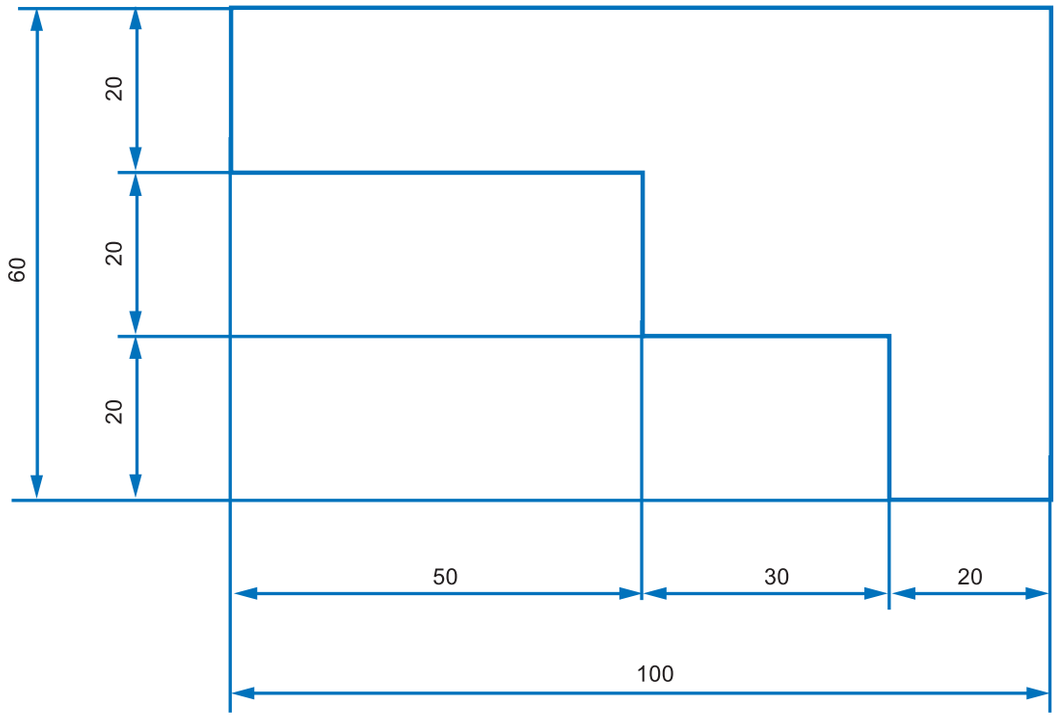
▲ Yhdensuuntainen perusviivamitoitus

Yhdensuuntaisella perusviivamitoituksella tarkoitetaan yksittäisten mittaviivojen sijoittamista keskenään yhdensuuntaisesti. Perusviivamitoituksen merkitys on lisääntynyt ohjattujen työstökoneiden käytön myötä.



Jatkuva perusviivamitoitus ▶

Jatkuvassa perusviivamitoituksessa merkitään nollapiste pienellä ympyrällä kuvaan. Mittaluvut voivat olla mittaviivan ulkopuolella tai mittaviivan yläpuolella, lähellä nuolen kärkeä, eivät kuitenkaan keskellä mittaviivaa.



▲ Ketjumitoitus

Ketjumitoituksessa kaikki mitat ovat peräkkäin. Kuvaan merkityt apumitat eivät ole standardin mukaan pakollisia. Ketjumitoituksen haittana on selkeän referenssipisteen puute. Tämä tarkoittaa sitä, että jos yksi mitta menee valmistusvaiheessa vikaan, loput mitat ovat sen seurauksena vääriä.

Mitoitusohjeita

Mitoituskuvaa piirrettäessä on huomioitava yleisiä mitoitusohjeita:

- Kappale piirretään paperin reunojen suuntaisesti käyttö- tai valmistusasennossa.
- Kappaleen päämitat on piirrettävä näkyviin (pituus, leveys ja korkeus).
- Valmistajan on saatava tarvittavat mitat ilman laskutoimituksia muista mitoista.
- Kukin mitta esitetään vain kerran.

- Kappaleen muoto on nähtävä mitoituksen joukosta.
- Keski- tai muotoviivaa ei saa käyttää mittaviivana. Kumpaakin saa käyttää mitta-apuviivana.

TEHTÄVIÄ

1. Miksi kukin mitta esitetään mitoitusta tehtäessä vain kerran?

2. Kuinka monta projektiota kappaleesta piirretään?

3. Millä viivatyylillä esitetään kappaleen muotoviiva? Entä keskiviiva?

4. Mikä on ketjumitoituksen huono puoli?

5. Minkä suuntainen on mittaviiva?

6. Kuinka suuri väli muotoviivasta on ensimmäisellä mittaviivalla?

7. Jos mitta puuttuu, sitä ei saa mitata piirustuksesta. Miksei?

8. Mikä on mittayksikkö koneenpiirustusten mitoissa?

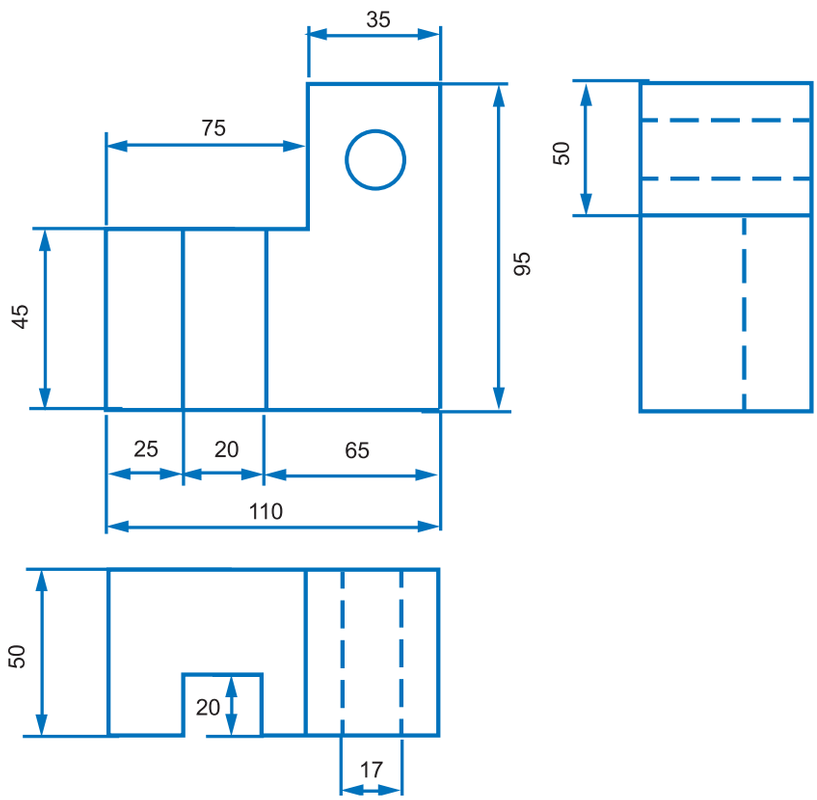
Piirtäminen

Ohessa esitellään, miten voit piirtää kappaleesta luonnoksen, mitoittaa ja piirtää sen tarpeen vaatiessa puhtaaksi. Pääpaino on oppia tulkitsemaan valmiiksi piirrettyjä konepiirustuksen kuvia.

Piirtämisohjeita:

- Valitse kappaleesta tarkoituksenmukaisin sivu pääprojektioksi.
- Piirrä kappaleesta luonnos eri projektioissa. (Luonnoksen ei tarvitse olla mittakaavassa.)
- Mittaa kappaleen mitat ja siirrä ne mittaluvuiksi vastaaviin projektioihin. (Varmista mitta.)
- Valitse mittakaava piirrokselle.
- Aloita piirtäminen pääprojektion sijoituksella. Se sijoitetaan yleensä keskelle piirtoalaa.
- Jätä riittävästi tilaa muille projektioille, jotta saat kaikki mitat mahtumaan sääntöjen mukaisesti.
- Varaa tilaa oikeasta alanurkasta piirustuksen otsikkotaululle, johon kirjoitetaan muun muassa piirtäjän nimi, kuvan nimi, versionumero, mittakaava, projisointitunnus ja yrityksen logo.

Esimerkkikuva:



Mitoitettu kappale

Rakennuspiirustukset

Sähköalalla työskentelevän asentajan on osattava tulkita paitsi oman alansa sähköpiirustuksia myös erilaisia rakentamiseen liittyviä piirustuksia. Seuraavassa perehdytään aluksi lain vaatimuksiin maan käytöstä kunnissa ja tutustutaan asemakaavaan ja tonttijakoon. Lisäksi luodaan katsaus rakentamisessa vaadittaviin piirustuksiin ja tarkastellaan kiinteistön pohjakuvaa, johon sähköpiirustus yleensä suunnitellaan.

Asemakaava ja tonttijako

Asemakaava on yksityiskohtainen suunnitelma alueiden käytön järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten. Asemakaava on laadittava maaston, maaperän laadun ja muiden paikallisten olosuhteiden mukaan sillä tavoin, että alue tulee tarkoituksenmukaisesti käytetyksi. Sen pitää tyydyttää terveellisyyden, paloturvallisuuden, liikenteen, viihtyisyyden ja kauneuden vaatimukset, ja siinä on varattava tarpeelliset alueet niihin erilaisiin tarkoituksiin, joita kaupungin kehitys edellyttää.

Asemakaavaa laadittaessa on mahdollisuuksien mukaan suojeltava ja säilytettävä kulttuurimuistomerkkejä sekä kauniita näköaloja ja muita kauneusarvoja. On myös katsottava, että puistoja ja muita virkistysalueita järjestetään riittävästi kaupungin eri osiin. Asemakaavalla tietty alue jaetaan asuinkortteleiksi. Korttelin rajaa tie, katu, metsä, puisto tai vesialue. Asemakaava sisältää yksityiskohtaisia määräyksiä rakentamistavasta. Kaava-alue voi käsittää esimerkiksi kokonaisen asuinalueen tai vain yhden tontin. Kaupunginvaltuusto asettaa kaavoitukselle tavoitteet asunto- ja maankäyttöohjelmassa sekä yleiskaavassa. Kaupunkisuunnittelun kaavoitusyksikkö valmistelee kaavat näiden tavoitteiden pohjalta. Asemakaavan puolestaan hyväksyy kaupunginvaltuusto.

Asemakaavassa määrätyt korttelit ositetaan tonttijakokartoiksi ja edelleen tonttikartaksi. Tonttikartta on virallinen asiakirja. Siinä on huomioitu kaikki asemakaava ja rakentamismääräykset, kuten kiinteistöjaotus, rajamitat ja rajamerkit, mahdolliset rakennukset sekä tontin pinta-ala. Tonttijaon hyväksyy kaupunginvaltuusto tai kaupunginhallitus. Päätös on alistettava sisäasiainministeriön vahvistettavaksi. Asemakaavan mittakaava on 1:2000, mutta myös mittakaavoja 1:500 ja 1:1000 käytetään.

Asemakaavassa on

- määrättävä asemakaava-alueen rajat
- määrättävä asemakaavaa toteutettaessa seurattavat likimääräiset korkeusluvut, jos se katsotaan tarpeelliseksi
- osoitettava mahdollisuudet veden hankintaan ja alueen viemäröimiseen.

Asemakaavassa voidaan määrätä alueita

- asuntoja, yleisiä rakennuksia, teollisuus ja muita tuotantolaitoksia, varastoja ja muuta rakennustoimintaa varten (rakennuskorttelit)
- katuja ja muita yleisiä liikenneväyliä varten (katualue)
- toreiksi ja katuaukioiksi
- puistoja, urheilu-, ulkoilu- ja uimaranta-alueita sekä muita vastaavia tarkoituksia varten (virkistysalueet)
- rautateitä, raitioteitä, linja-autoasemia, ajoneuvojen pysäköimispaikkoja, vesiteitä, satamia ja lentoasemia varten
- sellaisia kauttakulku- tai sisääntuloliikenteeseen tarkoitettuja teitä, joille ei ole pääsyä tonteilta eikä poikkikaduilta paitsi erityisesti järjestetyissä liittymiskohdissa, ja muita erityisiä liikennetarkoituksia varten.

Asemakaavalla määrätään muun muassa

- se, miten paljon tontille saa rakentaa
- rakennusten korkeuksia, kattokaltevuuksia ja materiaaleja
- rakennusten ja luonnon suojeluarvot
- puistojen sijoittuminen.

Talon rakentamisen piirustukset

Rakentamiseen tarvitaan seuraavia piirustuksia:

Asemapiirustus:

- Osoitetaan rakennuksen asema eli rakennuksen sijoittuminen tontille. Kuvaan merkitään nuolella pohjoinen ilmansuunta. Rakennus sijoitetaan piirustuslehdelle siten, että pohjoinen ilmansuunta on kuvassa sivun yläreunaa kohti.

Pohjapiirustus:

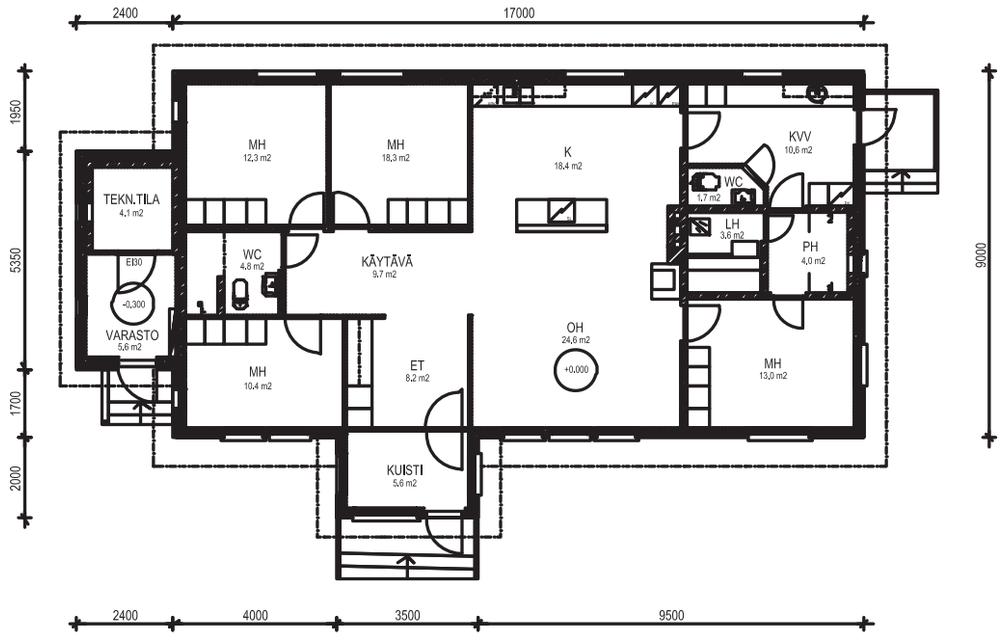
- Jokaisesta rakennuksen kerroksesta laaditaan pohjapiirustus. Mittakaava on 1:100 tai pientaloissa myös 1:50, jolloin piirustuksia voidaan käyttää sähköpiirustuksen pohjana.

Leikkaus:

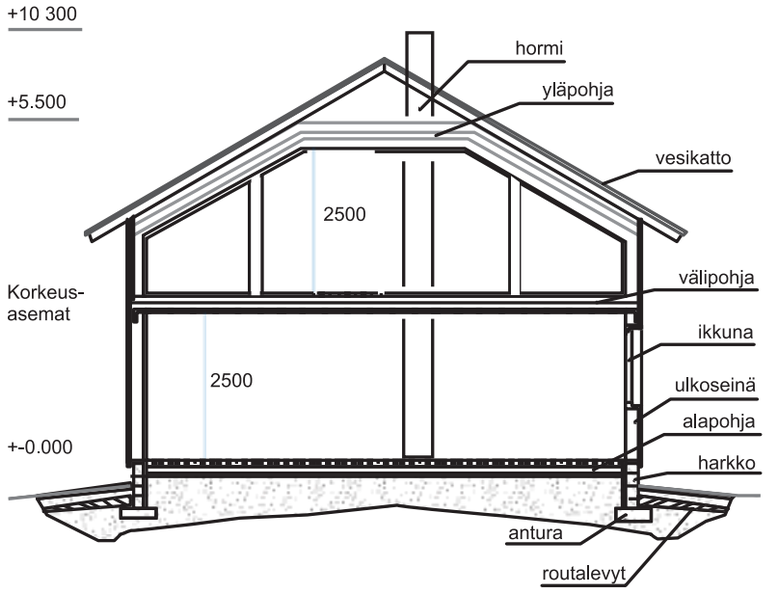
- Leikkauspiirustuksista käy ilmi rakennuksen osien korkeustasot. Nollataso on vertailutasona muille korkeusasemille. Kuvasta nähdään myös hormileikkaukset. Mittakaava on 1:100.

Julkisivupiirustukset:

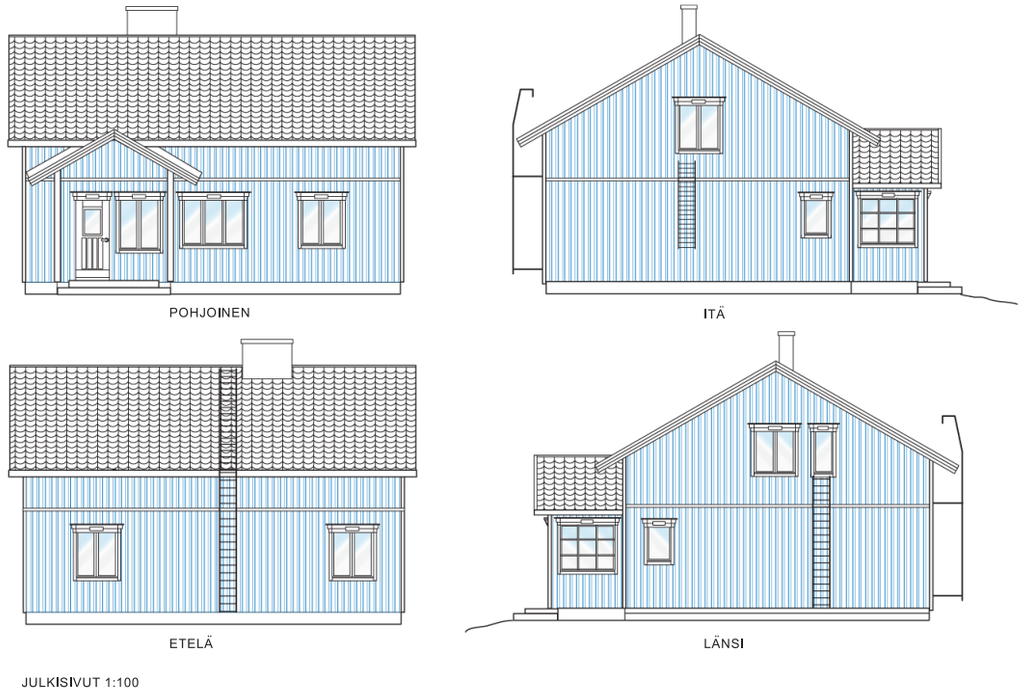
- Julkisivupiirustus kuvaa rakennuksen ulkonäköä, ja ne laaditaan rakennuksen kaikista sivuista vesikaton näkyvine osineen. Niihin voidaan merkitä myös käytettävät pintamateriaalit. Mittakaava on 1:100.



▲ Pohjapiirustus



Leikkauspiirustus ▶

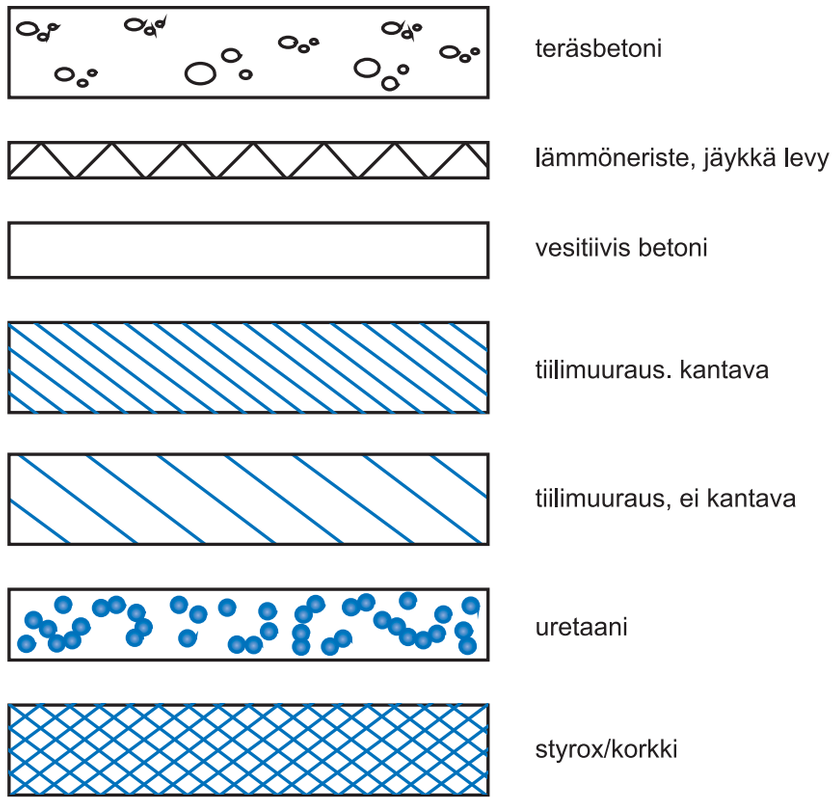


Julkisivukuvat ilmansuuntineen

Rakennuspiirustuksissa on käytössä paljon erilaisia lyhenteitä ja merkintöjä. Lyhenteiden käyttö ei ole itsetarkoitus, vaan tilan salliessa voidaan käyttää myös kokonaisia sanoja. Seuraavassa on rakennuspiirustuksissa yleisesti käytettävien tilojen, kalusteiden sekä laitteiden nimiä.

Huonetilojen lyhenteitä:	VH Vaatehuone	**Laitteiden lyhenteitä:**
TK Tuulikaappi	KUI Kuivaushuone	U Uuni
ET Eteinen	ASK Askartelutila	MU/MK Mikroaaltouuni
K Keittiö	VAR Varasto	AP/APK Astianpesukone
KK Keittokomero	AT/AK Autotalli tai -katos	JK Jääkaappi
RT/RH/R Ruokailutila	PE/PH Pesuhuone	PAK/PK/PA Pakastin
AH Asuinhuone	PU/PKH Pukuhuone	PP Pyykinpesukone
MH Makuuhuone	KHH Kodinhoitohuone	LÄ/LVV Lämminvesivaraaja
OH Olohuone	**Kiintokalusteiden lyhenteitä:**	LT Liesituuletin
KH/KPH Kylpyhuone	HK Hyllykaappi	
WC WC-tila	TK Tankokaappi	
SH Suihkuhuone	PY Pyykkikaappi	
S Sauna	JÄ Jätekaappi	
LÖ/L Löylyhuone	SK Siivouskaappi	
APK Apukeittiö		

Ainemerkkejä



Sähköalan piirustuksia

Sähköalalla on käytössä lukuisia piirustuksia. Rakennusten sähköpiirustuksia ovat

- johdotuspiirustus, pinta- ja uppoasennus
- keskuksen pääkaavio
- piirikaavio
- nousujohtokaavio
- maadoituskaavio
- telepiirustukset
- sähkölämmityksen piirustus.

Sähköpiirustusten lisäksi käytössä on

- tarvikeluettelo
- kalusteluettelo
- taulukkoja
- mittauspöytäkirjoja.

Sähköalalla käytettävät elektroniikkapiirustukset ovat

- lohkokaavio
- piirikaavio
- piirilevy ja osasijoittelukuva
- johdotuspiirustus.

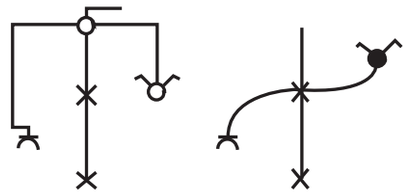
Elektroniikkakuvien lisäksi käytössä ovat

- osaluettelo komponenteista
- mittauspöytäkirja.

Johdotuspiirustukset

Johdotuspiirustus piirretään rakennuksen pohjapiirustuskuvaan, ja sen mittakaava on yleensä 1:50 tai 1:100. Pinta-asennuksen johdotuspiirustus piirretään suorin viivoin ja jokainen viivanveto kalusteiden välillä vastaa kaapelia huonetilassa.

Uppoasennettavassa johdotuksessa kaapeleita esittävät viivat kalusteiden välillä ovat käyriä. Kaapelit eivät jää näkyville valmiissa kiinteistössä, vaan ne piilotetaan rakenteisiin ja vain kalusteet tulevat näkösälle. Johdotuskuvan perusteella sähköasentaja suorittaa kohteen sähköasennustyöt.



▲ Pinta-asennus (vas.) ja uppoasennus (oik.)

Sähkökeskuksen pääkaavio

Keskuksen pääkaavio esittää tärkeimmät tekniset tiedot sähkökeskuksesta: keskuksen rakenteen ja lähdöt sekä niihin liittyvät pää- komponentit, kuten kytkinvarokkeet, kuormakytkimet, mittarit, kontaktorit, johdonsuoja-automaatit, sulakkeet, vikavirtasuojakatkaisijat ja releet nimellisvirtoineen. Keskuksen pääkytkimeen merkitään tiedot nousujohdon tyypistä. Suunnittelija merkitsee keskuksen lähtöihin käyttötarkoituksen, sekä ryhmäjohdon ja ohjausjohtojen tyypit. Asentaja merkitsee lähtöihin ryhmänumerot. Keskuksen pääkaavio voidaan piirtää erikseen mittarikeskuskaaviona ja huoneistoryhmäkeskuskaaviona tai yhteen pääkaavioon.

Keskuksen piirikaavio

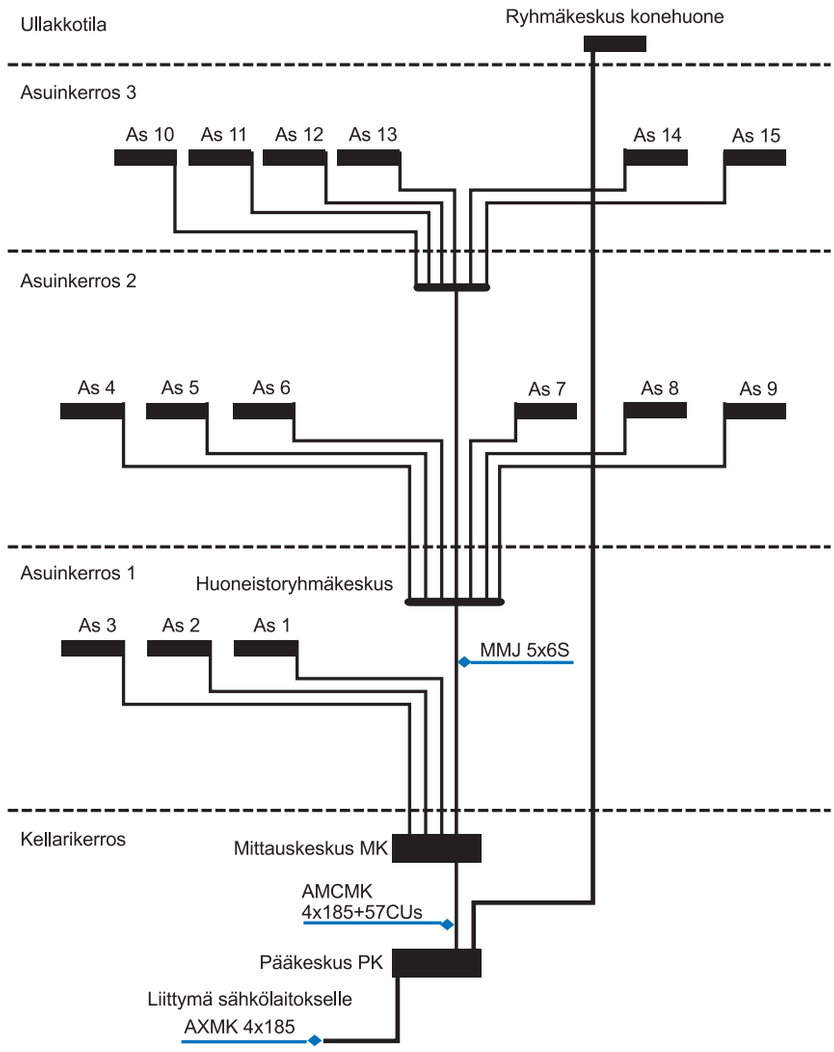
Piirikaaviot laaditaan A4-kokoon. Kaavio esittää keskuksen lähdön komponenttien väliset kytkennät ja toiminnot sekä niiden väliset yhteydet. Siinä esi-

tetään myös ohjaus- tai valvontapiirien lisäksi pääpiirin kytkentä tarvittavassa laajuudessa.

Valaistuspiirikaaviot esittävät muun muassa aikakellolla tai porrasvaloautomaatilla ohjattujen valaistuslähtöjen komponentit, kytkennät ja johdotukset. Ilmastoinnin piirikaaviolla esitetään poistoilmapuhaltimien lähtöjen komponentit, kytkennät ja johdotukset.

Nousujohtokaavio

Nousujohtokaavion päätarkoitus on esittää kiinteistön sähkönjakeluverkon rakenne. Kaavio piirretään yleensä kaavioesityksenä ja sillä esitetään jakelujärjestelmään liittyvät pää-, mittaus- ja huoneistoryhmäkeskukset sekä näiden väliset nousujohdot kaapelityyppeineen. Nousujohtokaaviossa esitetään rakennuksen verkon liitos yleiseen sähkönjakeluverkkoon. Rakennuksen kerrokset piirretään vaakakatkoviivoin ja portaat pystykatkoviivoin.

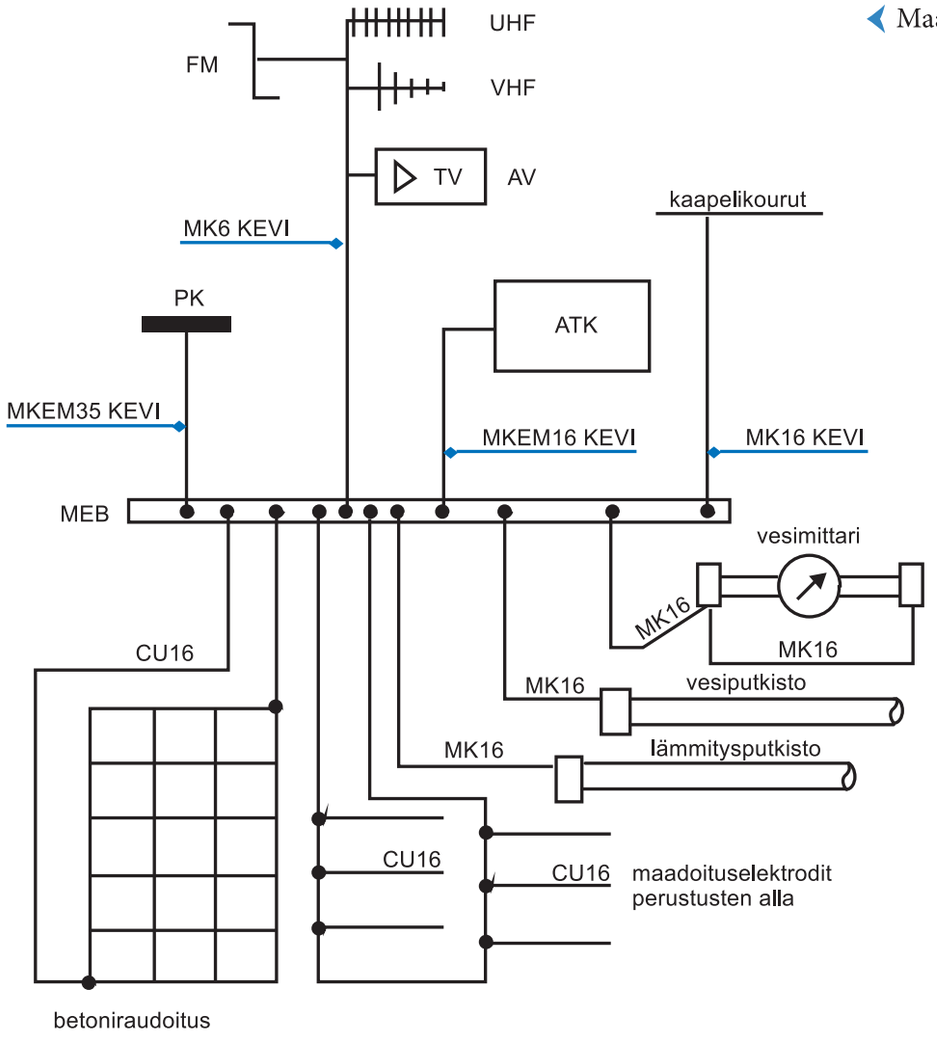


Nousujohtokaavio

Maadoituskaavio

Maadoituskaavio esittää rakennuksen maadoitusverkon rakenteen. Siihen on piirretty pääpotentiaalintasauskiskot, potentiaalintasauskiskot ja muut maadoituskiskot sekä kiskoihin liittyvät johdot johtotyyppeineen. Kaaviossa esitetään myös liitokset maadoituselektrodiin ja johtaviin rakenteisiin.

Maadoituskaavio



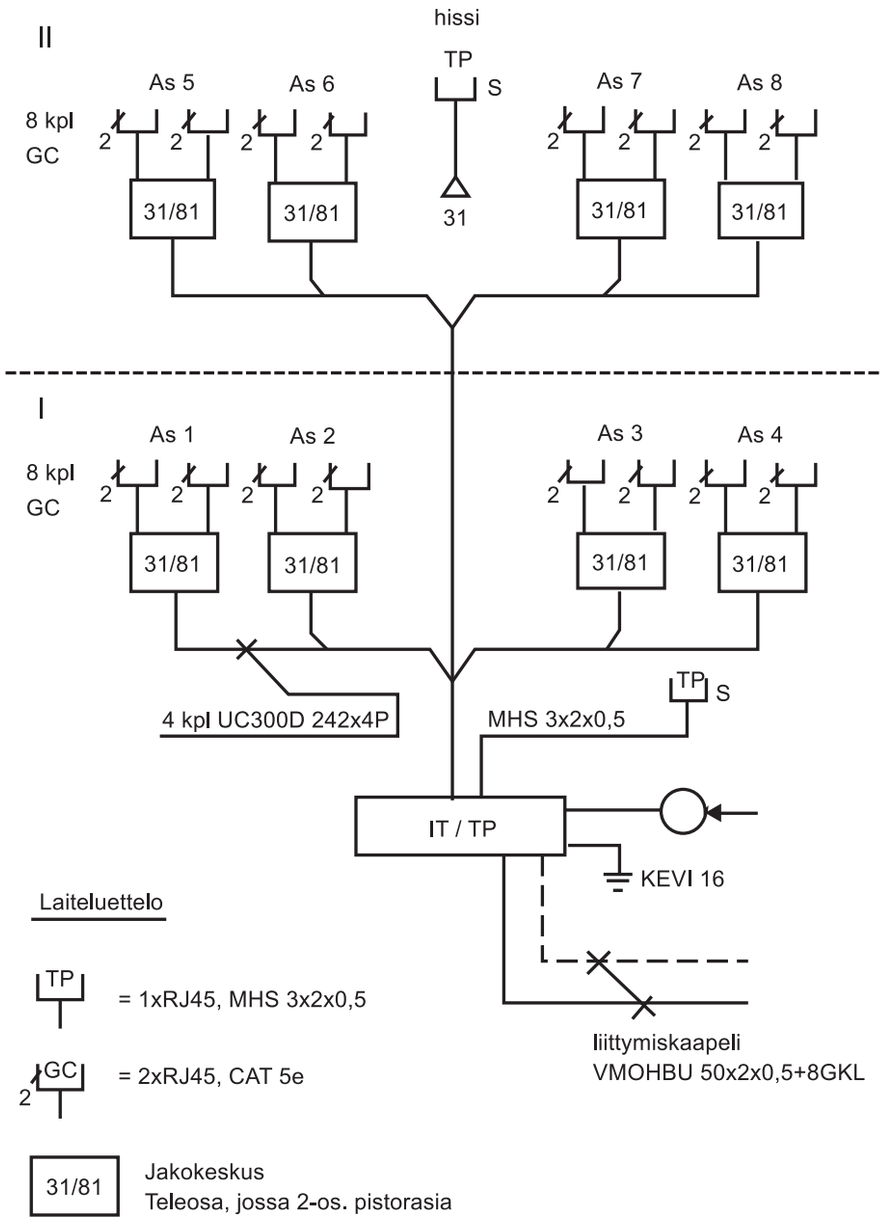
Telepiirustukset

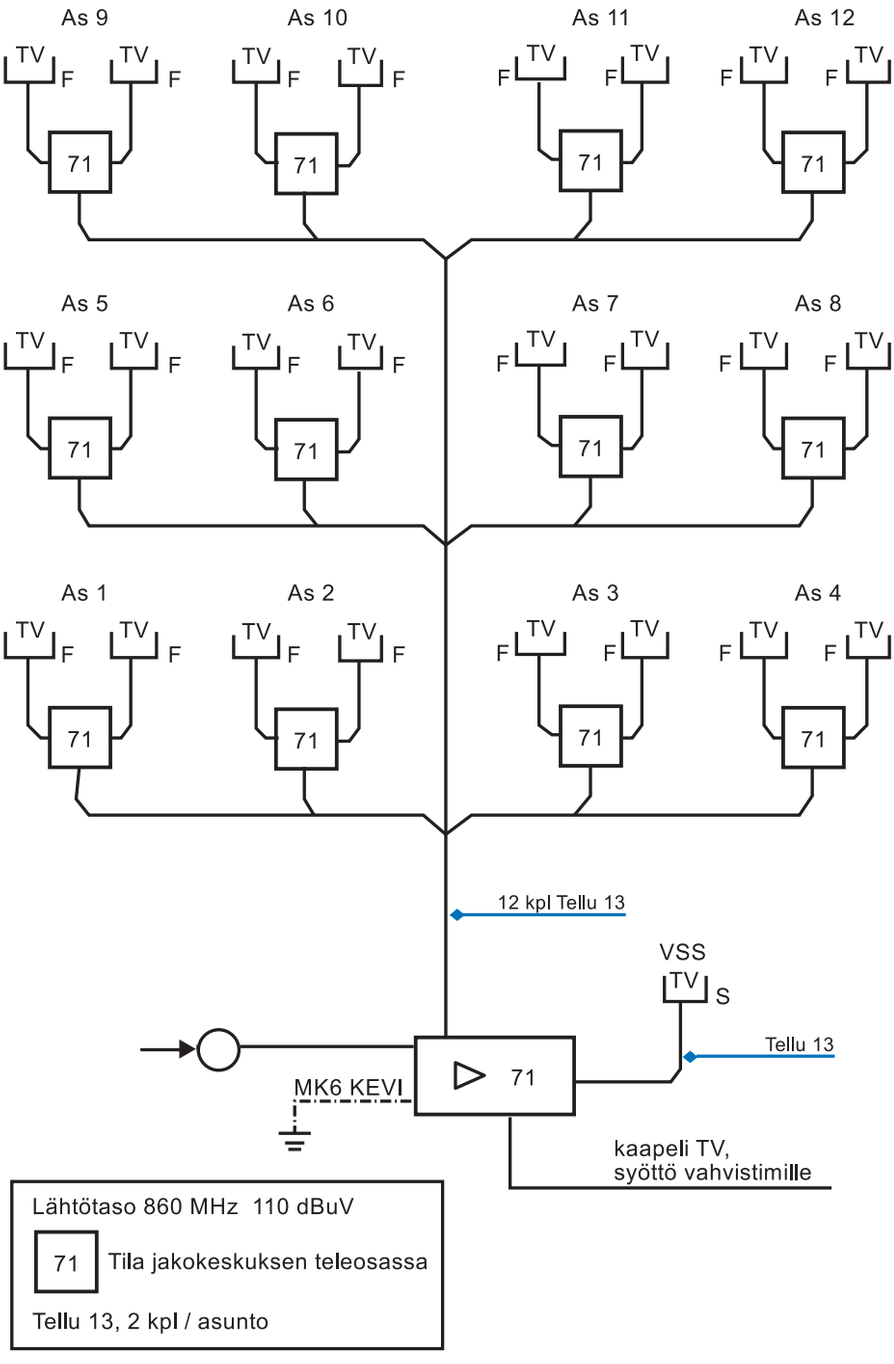
Telejärjestelmän johtokaavio on piirustus rakennuksen telejärjestelmästä. Siinä ovat kuvattuina päälaitteet, niiden väliset runkojohdot ja kaapelityypit. Johtokaaviolla esitetään järjestelmän liittyminen muihin järjestelmiin. Siinä voi olla myös kuvattuna järjestelmän periaatteellinen rakenne liitäntärasioihin asti. Telejärjestelmän johtokaavio on yleensä kaavioesitys, jossa ei ole yksittäisiä pisteitä vaan ainoastaan pistekaapelointi periaatteellisella tasolla.

Kaaviossa voidaan rakennuksen kerrokset esittää esimerkiksi vaakakatkoviivoin ja portaat pystykatkoviivoin. Keskuslaitteet sijoitetaan kaavioon niiden todellisen sijainnin mukaisessa järjestyksessä. On otettava huomioon, että eri kerroksissa saman nousukuilun kohdalla olevat keskuslaitteet esitetään kaaviossa allekkain. Lisäksi on tärkeää, että kaaviossa pyritään esittämään, mitkä runkojohdot kulkevat samassa nousukuilussa ja missä kerroksissa vaakavedot tehdään. Yleiskaapelointijärjestelmän johtokaaviossa tulee esittää ainakin pääjakamo ja mahdolliset muut ristikytkentätelineet sekä näiden väliset johdot tyyppeineen.

Yhteisantennijärjestelmän johtokaaviossa tulee esittää ainakin pää- ja mahdolliset alavahvistimet sekä jaottimet ja haaroittimet sekä näiden väliset johdot tyyppeineen. Lisäksi kaaviossa tai erillisessä taulukossa tulee esittää yhteisantenniverkon vaimennuslaskelmat.

Yleiskaapelointi-
järjestelmä





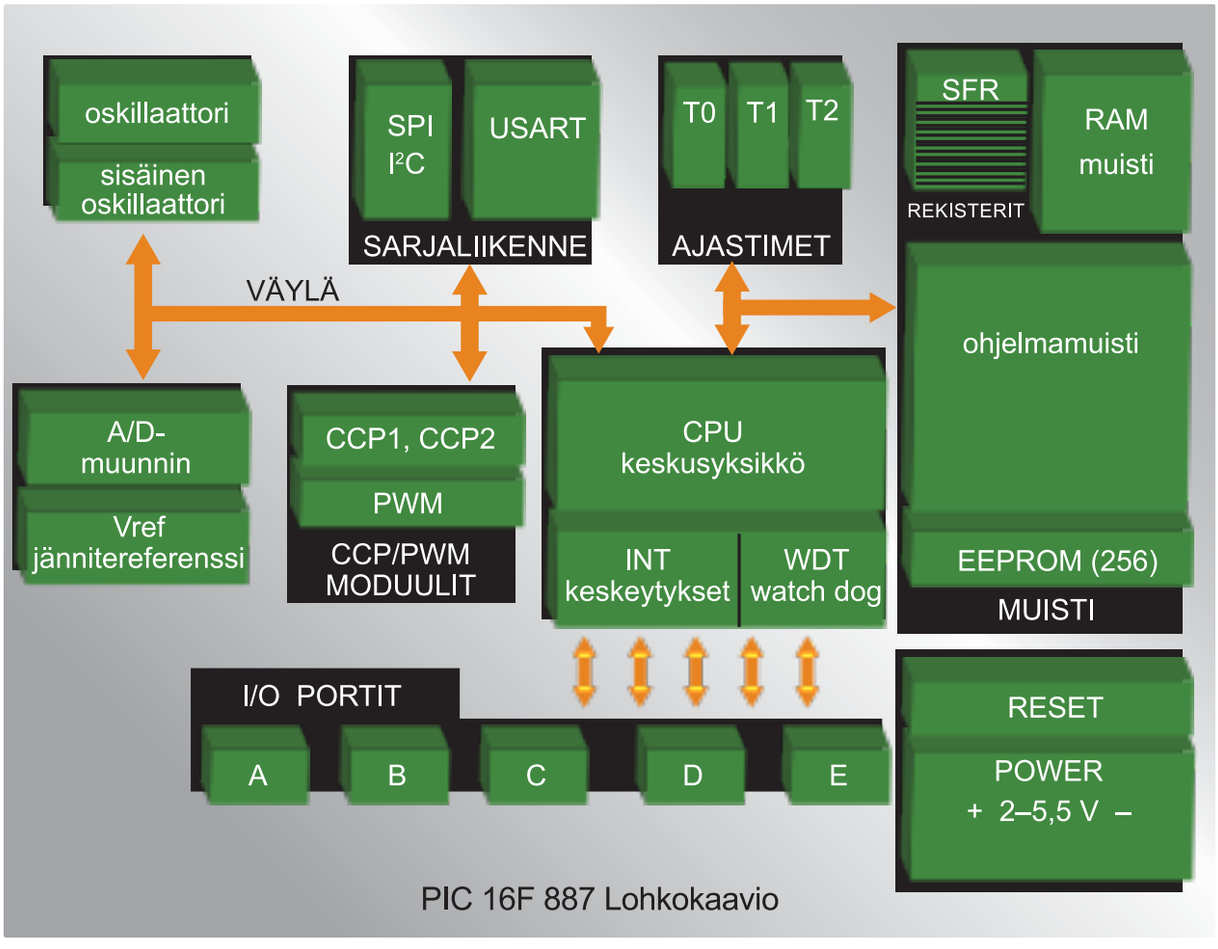
Sähkölämmitys

Sähkölämmityksen piirustus esittää rakennuksen lämmitysjärjestelmän, laitteet ja johdotukset. Kuva piirretään rakennuksen pohjapiirustukseen mittakaavassa 1:50 tai 1:100. Lämmityselementit voidaan sijoittaa lattiaan, kattoon, seinään tai ikkunaruutu voi toimia lämpöelementtinä. Katto- ja lattialämmityksen etuna on sisustuksen helppous. Kattolämmityksen yhteydessä lisätään ikkunoiden kohdalle yleensä lämpölistat, vedon poistamiseksi. Pesu-, sauna- ja muihin märkätiloihin asennetaan yleensä lattialämmitys.

Elektroniikkapiirustukset

Lohkokaavio

Lohkokaaviolla esitetään laitteen tai sen osan periaatteellinen toiminta ja moduulien välinen yhteys. Lohkokaaviossa esitetään signaalin kulku ja asteisiin tulevat jännitesyötöt. Lohkokaavio on yleisluontoinen esitys laitteen sähköisistä ominaisuuksista. Signaalin kulku piirretään vasemmalta oikealle, ylhäältä alas ja suurempi potentiaali kuvan yläosaan.



▲ Mikroprosessorin lohkokaavio

TEHTÄVIÄ

1 Piirrä tietokoneen lohkokaavio.

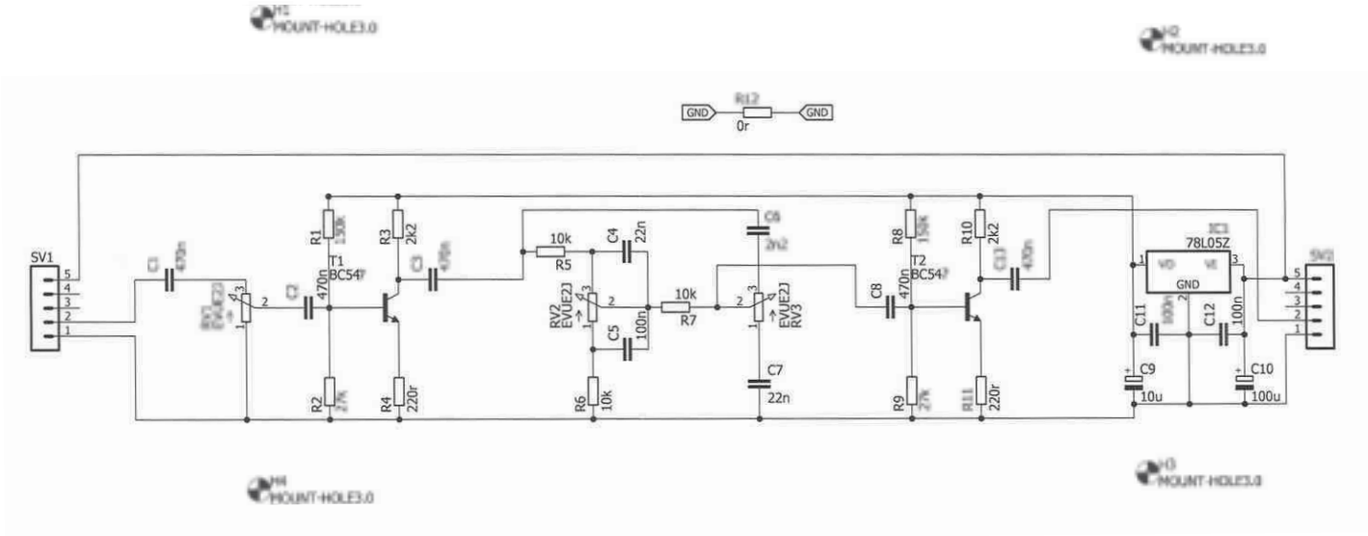
Piirikaavio

Piirikaavio on yksityiskohtainen kuva elektronisen laitteen sähköisestä kytkennästä. Piirikaavion perusteella laaditaan kuva piirilevyyn tulevista folioista ja osasijoittelukuva. Piirikaavio piirretään signaalin kannalta selkeään muotoon.

Signaalin kulkusuunta on vasemmalta oikealle. Jännitteen syöttö voidaan piirtää tulevaksi ylhäältä tai oikealta. Jännitteiden suurempi potentiaali (U+) piirretään kuvan yläosaan ja pienempi potentiaali (GND) kuvan alaosaan.

Komponenttien tunnukset (R1, R2 jne.) alkavat vasemmasta yläkulmasta, ja kulkusuunta on ylhäältä alaspäin ja vasemmalta oikealle. Samantyyppiset komponentit pyritään piirtämään pystysuunnassa allekkain ja vaakasuunnassa rinnakkain, jotta kuvan luettavuus olisi hyvä.

Piirikaaviota käytetään laitteen rakentamisvaiheessa, virittämisessä ja korjaamisessa, joten sen on oltava selkeästi luettavissa. Piirikaavion liittyy läheisesti komponenttiluettelo, jonka perusteella osat hankitaan. IEC:n mukaiset piirrosmerkit poikkeavat amerikkalaisista, joten on hyvä opetella yleisimmät piirrosmerkit molemmista standardeista.

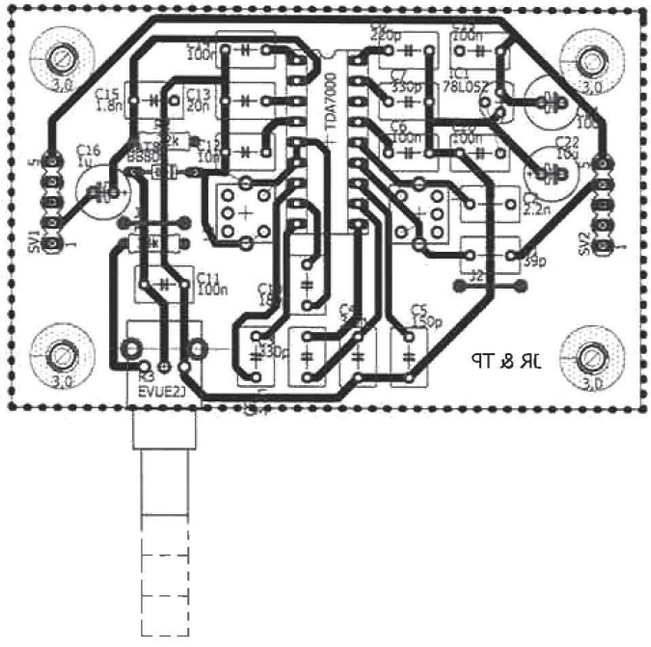


▲ Piirikaavio, IEC:n mukaiset piirrosmerkit

Piirilevy ja osasijoittelukuva

Aluksi piirretään piirikaavio, jonka perusteella levy suunnitellaan erillisellä piirilevyn suunnitteluohjelmalla. Piirilevylle sijoitettavien komponenttien ei kaikissa tapauksissa tarvitse noudattaa orjallisesti piirikaaviolla olevaa sijaintia. Levyn kuparifoliot kytkevät osat sähköisesti toisiinsa. Foliot saadaan aikaiseksi syövyttämällä ylimääräinen kupari pois.

Suunnittelija asettelee osat kuvassa paikoilleen ja piirtää folioinnin. Näin syntyy osasijoittelukuva ja kuva folioista. Osasijoittelukuvan perusteella komponentit juotetaan oikeille paikoilleen.



◀ Piirilevyn foliot ja osasijoittelukuva

Johdotuspiirustus

Johdotuspiirustusta tarvitaan laitteen teollisessa sarjatuotannossa. Piirustuksessa esitetään johtojen kytkeminen ja niiden sijainti laitteen rakenteissa. Johdot voivat olla valmiiksi niputettuina, jolloin asentaja kytkee ne johdotuspiirustuksen mukaisesti, tai hän kytkee johtimet yksitellen.

Automaatiopiirustukset

Automaatiotekniikka käsittelee koneiden, laitteiden ja prosessien ohjaamista automaattisesti ilman ihmisen välitöntä vaikutusta. Automaatiosta on tullut välttämätön ja erottamaton osa tuotantoprosessia sekä prosessiteollisuudessa, kuten sellu- ja paperiteollisuudessa, että kappaletavaratuotannossa. Toisaalta automaatiosta on tullut erityisesti kone- ja sähköteollisuudessa välttämätön ja erottamaton osa myytävää tuotetta; monet suomalaiset koneet ja laitteet ovat kilpailukykyisiä juuri edistyksellisen integroidun ohjausautomaation ansiosta. Kestävän kehityksen idea tuotannossa voidaan toteuttaa vain kehittyneen automaation ja säätötekniikan avulla.

Kappaletavara-automaation tarkoituksena teollisuudessa on muun muassa paitsi suorittaa hienomekaniikan toimintoja myös tehdä raskaita, vaarallisia ja yksitoikkoisia toistuvia tehtäviä nopeasti ja täsmällisesti. Toimivalla tuotantoautomaatiolla voidaan tuottaa samanlaisia tavaroita kilpailukykyiseen hintaan ja pitää laatu tasokkaana. Kappaletavara-automaation käsitteitä ovat muun muassa logiikkaohjaus, kappaleen tunnistus, releet, kontaktorit, moottorit, hissit, kuljettimet ja robotiikka.

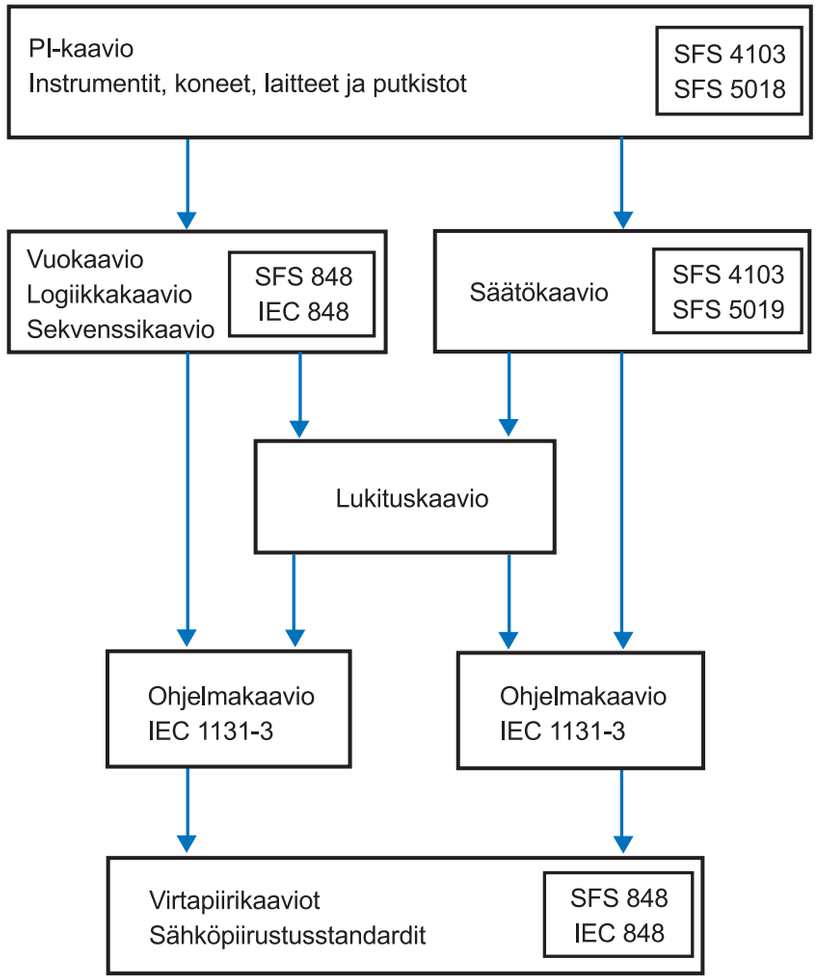
Elintarvike- ja lääketeollisuudessa automaation avulla pidetään suuria vaatimuksia täyttäviä kemiallisia prosesseja toiminnassa. Kysymyksessä on tällöin prosessiautomaatio. Prosessiautomaatiossa käytetään toiminnan ylläpitämiseksi erilaisia instrumentteja. Instrumentit ovat prosessin tarkkailuun suunniteltuja laitteita, ja niillä on kullakin omat piirrosmerkkinsä.

Prosessiautomaation instrumentteja ovat muun muassa säätöventtiilit, lämpöä mittaavat anturit, lämpötilan säätölaitteet, nesteen virtausmittaus- ja säätölaitteet ja paineanturit ja -mittarit. Lisäksi prosessilaitteisiin kuuluu toimialan mukaan putkistoja, pumppuja, säiliöitä, lämmittimiä, jäähdyttimiä jne.

Kiinteistöautomaation avulla valvotaan ja säädetään tavanmukaisia lämpö-, vesi- ja ilmastointitoimintoja ja palohälytystä. Kiinteistöautomaatioon kuuluvat myös valaistuksen ohjaus, kameravalvonta, kulunvalvonta ja rikosilmoituslaitteet.

Automaation piirustuksia

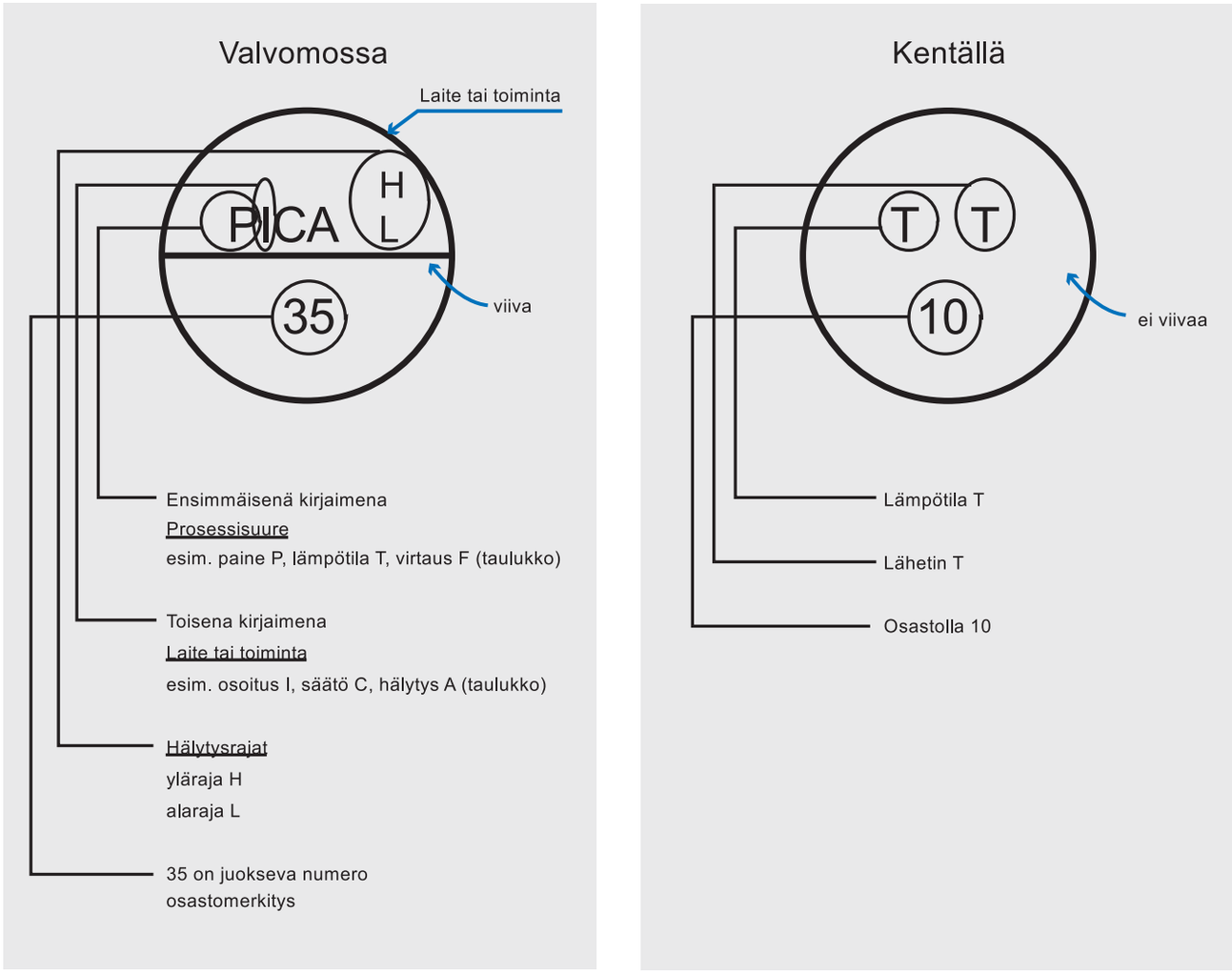
Automaatioon sisältyy lukuisa joukko erilaisia piirustuksia, kaavioita ja taulukoita, jotka kaikki on määritelty eri maiden kansallisissa ja kansainvälisissä standardeissa. Suomessa on käytössä SFS-standardointijärjestelmä. Seuraavassa esitetään tämänhetkiset automaation standardit.



▲ Automaation toimintaa esittävät piirustukset

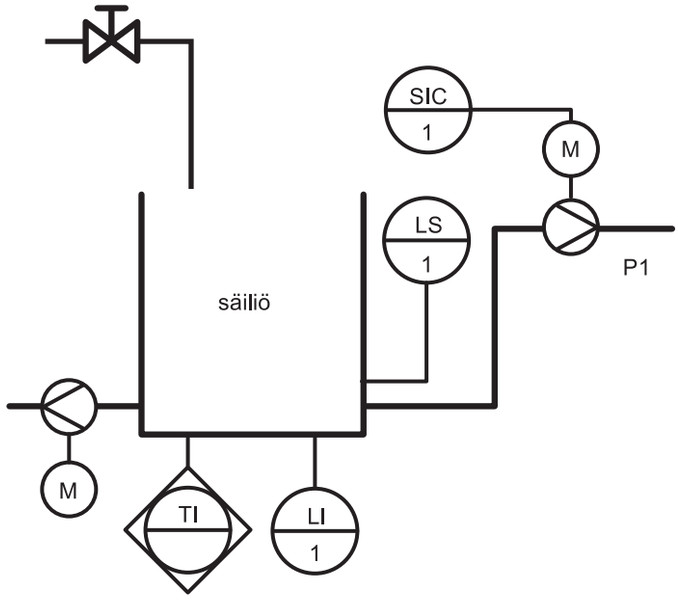
Prosessi- eli PI-kaavio

PI-kaavio on yksiselitteinen kuva koko prosessin toiminnasta: instrumentoinnista, mittapisteistä, pumpuista, putkista jne. Suuret prosessit jaetaan useammalle toiminnalliselle PI-kaaviolle. Kaaviot piirretään CAD-ohjelmistolla. On hyvä tutustua taulukkoon instrumentoinnin tunnuskirjaimista ja piirrosmerkeistä ja niiden käyttöön. Tämän jälkeen prosessista esitettyyn PI-kuvaan tutustuminen on helpompaa.

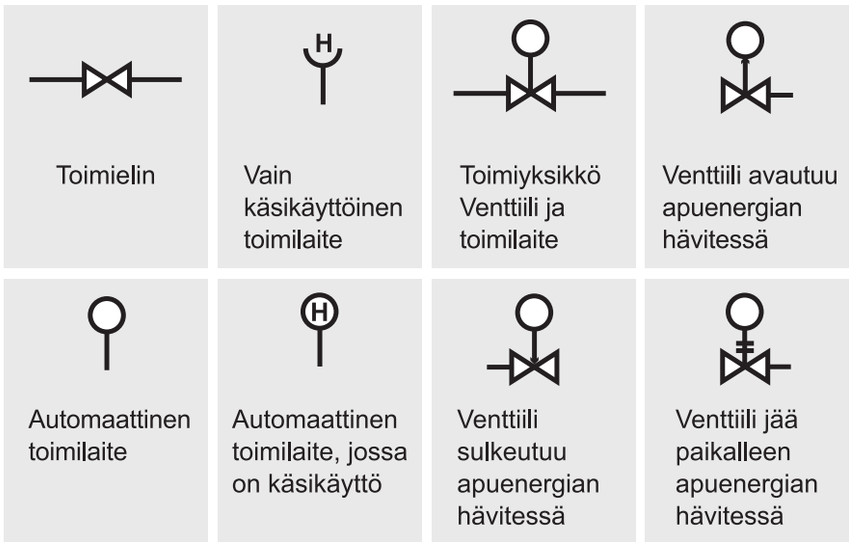


▲ Instrumentoinnin tunnuskirjainten merkitys

PI-kaavio prosessista ➤



Instrumentoinnin tunnuskirjaimet:			
	Merkitys ensimmäisenä kirjaimena	**Apumerkintä**	**Merkitys jäljempänä kirjaimena**
A			Hälytys
B			Audiovisuaalinen toiminta
C			Säätö
D	Tiheys	Ero	
E	Sähkösuureet		Anturitoiminta
F	Virtaus	Suhde	
G	Pituus, asento		
H	(Kun ensimmäinen kirjain puuttuu, H tarkoittaa käsiohjausta myös ensimmäisenä kirjaimena)		Käsiohjaus
I			Osoitus
J			Jaksottainen toiminta
K	Aika tai aikaohjelma		
L	Pinnan korkeus		
M	Kosteus		Viestin muunto
N	Käyttäjän valittavissa		
O	Käyttäjän valittavissa		
P	Paine		Testaus, näytteenotto
S	Nopeus, taajuus		Kytkentätoiminta
T	Lämpötila		Lähetintoiminta
U	Monimuuttuja		Monitoiminta
V	Viskositeetti		Venttiili, toimiyksikkö
W	Paino, voima		
X	Määrittelemättömät suureet		Määrittelemättömät toiminnat
Y	Käyttäjän valittavissa		Laskentatoiminta
Z			Hätä- ja turvatoiminta, lukitus



Toimiyksiköiden piirrosmerkkejä

Säätökaavio

IV-laitteiden yhteydessä käytetään laitteen toiminnan esittämiseen ja säätökaavioita. Säätökaavio on tarkka piirustus ja selostus laitteiston toiminnasta. Toimintakaavio sisältää LVIS-prosessin toimintaperiaatteen kaaviomuodossa. Toimintakaavio selvittää toimintaprosessin osa-alueet kaikkine tarvittavine komponentteineen siten, että kaikki tarvittavat laitteet mahdollistavat toiminnan. Toiminnot ovat säätö, ohjaus, hälytys- ja tilatieto, mittaus ja pulssilaskenta. Toimintaselostus sisältää kaikki fyysiset ja ohjelmalliset toiminnot ja säätöjen periaatteet viitaten toimintakaaviossa oleviin laitetunnuksiin.

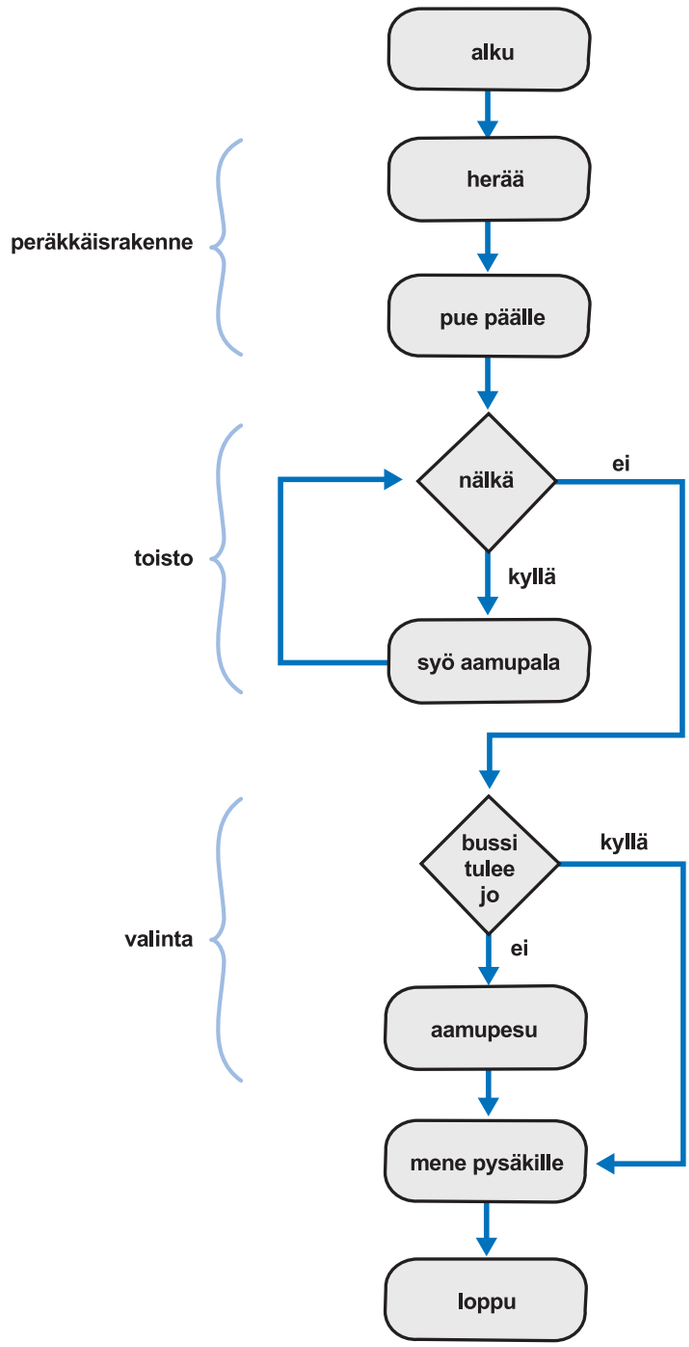
Selostuksessa esitetään toiminnot: ohjaukset, säädöt, lukitukset ja varotoimet. Laiteluettelon tulee sisältää kaikki järjestelmän LVI-, S-, K- ja automaatiolaitteet, jotka vaikuttavat toimintakaavion prosessiin tai antavat siitä tietoa käyttäjälle.

Laiteluettelosta ilmenevät laitetunnus, laitteen nimitys, laitteen tyyppi ja tekniset arvot. Pisteluettelosta taas ilmenevät liityntä-, perus- ja ohjelmointitiedot, jotka mahdollistavat prosessin ohjelmoinnin automaatiokeskukseen, jota kutsutaan nimellä valvonta-alakeskus. Pisteluettelosta ilmenevät alakeskuksen säätö-, valvonta- ja ohjauskohteet, laitetunnus, digitaalilähdöt ja -tulot, analogialähdöt ja -tulot sekä ohjelmointitiedot (käyttöohjelmistot).

Ohjelmointitiedot pisteluetteloon eritellään vuorokausi-/viikko-/kalenteriaikaohjelma, tapahtumaohjelmat, fyysisten tai ohjelmallisten pisteiden ohjaukset, jaksottaiskäyttöohjelmat ja käy/seis-pisteet aikaohjelman mukaan.

Vuokaavio

Vuokaavio on yleisluontoinen kuvaus prosessista. Sillä esitetään asioiden tai toimintojen riippuvuussuhteet toisiinsa nähden. Toiminnot etenevät kuvassa ylhäältä alas ja vasemmalta oikealle. Vuokaaviossa usein esiintyvät termit ovat valinta, toisto, haarautuminen ja laskenta. Periaatteessa mistä tahansa asiasta voi suunnitella toimivan vuokaavion. Ei ole vain yhtä oikeaa ratkaisua, vaan ratkaisuja voi olla useampia ja ne kaikki voivat toteuttaa saman päämäärän, eri tavalla toteutettuna.



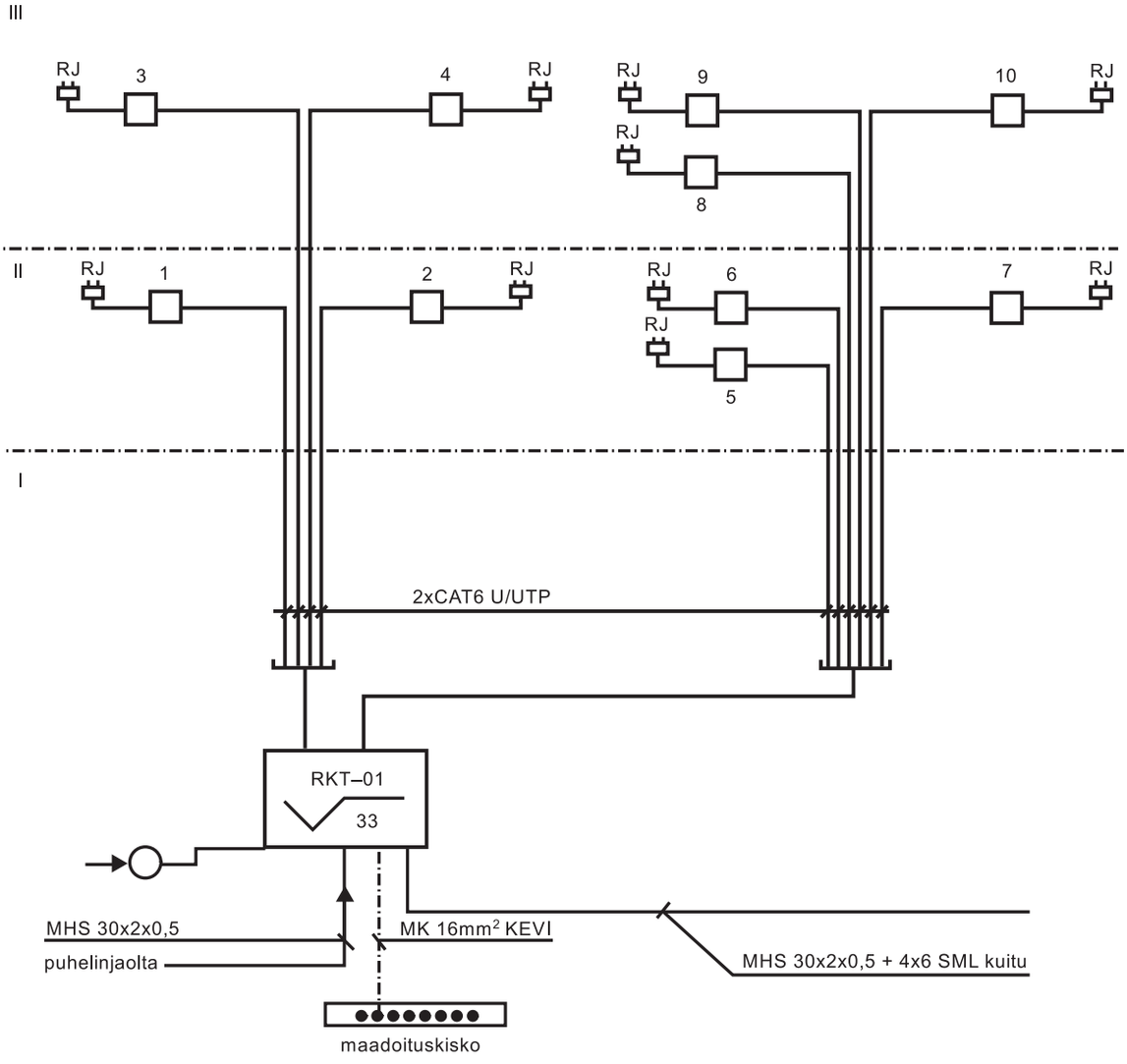
▲ Vuokaavio

ATK- ja telejärjestelmät

Yleiskaapelointi

Yleiskaapelointia koskevia standardeja ovat muun muassa eurooppalainen SF-EN 50173-1 ja kansainvälinen ISO/IEC 11801. Kaapelointiratkaisuun liitetään puhelin-, data- ja muut lähiverkkosovellukset, mistä juontuu nimitys yleiskaapelointi. Kaapelointi on määrämuotoinen, ja se toteutetaan aina samanlaisena. Datapisteisiin asennetaan standardin mukaiset liittimet, jotka yhdistetään kerroskaapeloinnilla kerrosjakamon ristikytkentäpaneeliin.

Asiakaskoneet liitetään atk-rasioihin välikaapeleilla, joissa on kummassakin päässä RJ45-liitin. Sama kaapelointi sopii myös puhelinverkko käyttöön, jolloin erillistä puhelinkaapelointia ei tarvita.

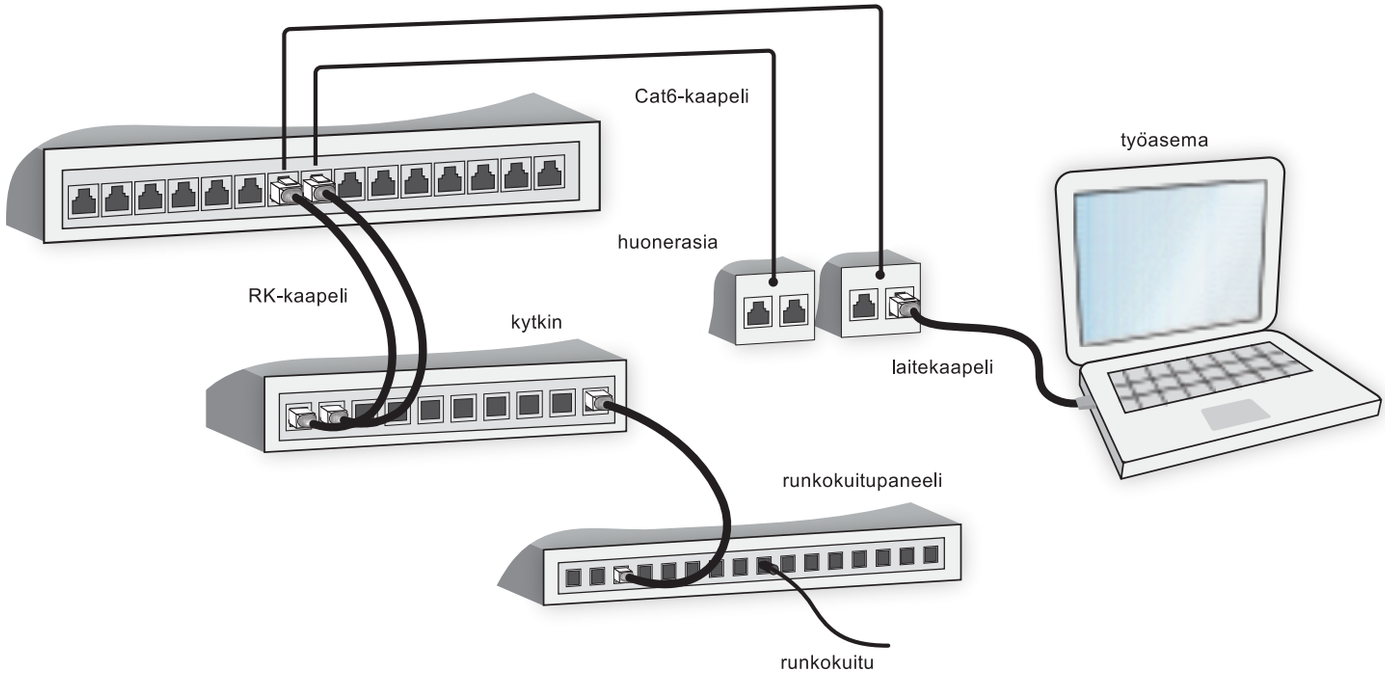


▲ Yleiskaapeloinnin nousujohtokaavio

Yleiskaapeloinnissa aluekaapeli kytketään talojakamoon. Nousukaapeloinnilla talojakamo yhdistetään eri kerroksissa sijaitseviin kerrosjakamoihin. Kukin asiakasrasia (RJ) kytketään yksittäin kerrosjakamoon, jolloin puhutaan tähtimäisestä kytkentätavasta.

Yleiskaapeloinnilla (EN 50173) rakennetaan yhtenäinen lähiverkkokokonaisuus, kategoria 6 (CAT6). Verkon laajentaminen, hallinta ja vikojen paikallistaminen on helppoa.

Kaapelointikategoriat:			
Cat5	100 MHz	100BASE-TX & 1000BASE-T Ethernet	
Cat5e	100 MHz	100BASE-TX & 1000BASE-T Ethernet	Enhanced Cat5. Käytännössä sama kuin Cat5, mutta testausstandardit ovat muuttuneet, jotta Gigabit Ethernet saadaan luotettavasti toimimaan.
Cat6	250 MHz	1000BASE-T Ethernet	Yleisin asennettavista kaapelointistandardeista v. 2002 alkaen Suomessa. SFS-EN 50173-1
Cat6e	250 MHz	10GBASE-T (kehitteillä) Ethernet	Kaapelivalmistajien oma merkintä, ei standardi.
Cat6a	500 MHz	10GBASE-T (kehitteillä) Ethernet	Standardi tekeillä (ISO/IEC 11801:2002 Amendment 2).
Cat7	600 MHz	Ei sovelluksia vielä	Kaapelissa neljä parisuojattua paria; standardi tekeillä.
Cat7a	1000 MHz	Puhelin, CATV ja 1000BASE-T samassa kaapelissa	Kaapelissa neljä parisuojattua paria + palmikkosuojaus ympärillä; standardi tekeillä.
Cat8	1200 MHz	Kehitteillä, ei sovelluksia vielä	Kaapelissa neljä parisuojattua paria + palmikkosuojaus ympärillä; standardi tekeillä.



▲ Yleiskaapelointina toteutettu lähiverkko, kategoria 6 (Cat6)

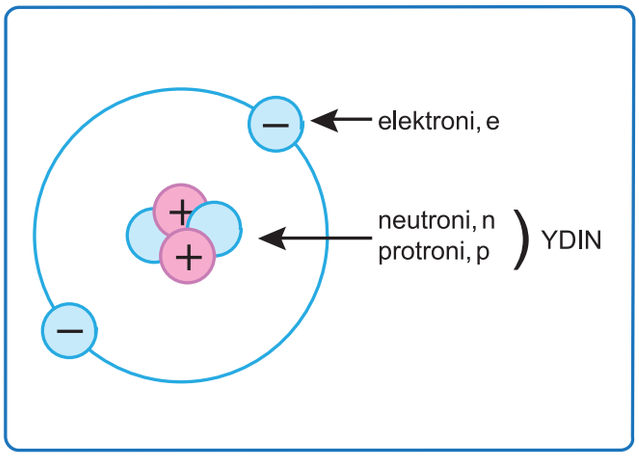
3 Tasasähkötekniikka

Tässä luvussa

- **opitaan, mistä sähköä saadaan ja miten eri materiaalit johtavat sähköä**
- **omaksutaan sähköisten suureiden mittaaminen ja mittauskäytännöt sekä sähkön perussuureiden käsittely, jotta käytännön työssä ymmärretään sähkön luonne**
- **opitaan laskemaan sähköopin peruslaskuja, jotta sähköasennustyössä osataan arvioida eri suureiden suuruusluokkia.**

Mitä sähkö on?

Sähkö on erimerkkisten varausten aiheuttama luonnonilmiö. Kaikki materiaalit koostuvat atomeista, ja atomit koostuvat protoneista, neutroneista ja elektroneista. Sähköstä puhuttaessa ollaan nimenomaan kiinnostuneita protoneista ja elektroneista sekä niiden olemassaolosta ja liikkeestä.



Atomi

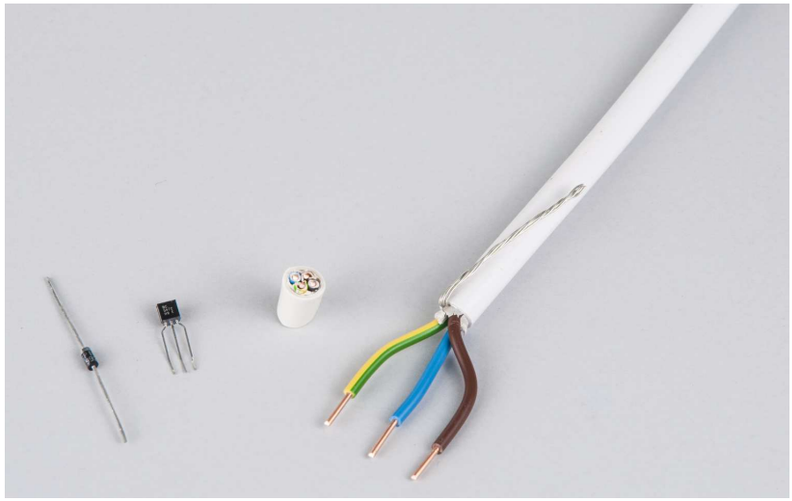
Erisuuruisilla varauksilla on aina taipumus tasaantua. Kun materiaalissa on enemmän protoneja kuin elektroneja, se on positiivisesti varautunut, ja kun materiaalissa on elektroneja enemmän kuin protoneja, se on negatiivisesti

varautunut. Tällaisten varauskertymien aikaansaamiseksi tarvitaan energiaa, minkä vuoksi niihin on varastoitunut energiaa, jolla on luonnostaan taipumusta purkautua. Luonnossa tämän purkautumisilmiön näkee ukonilmalla salamointina.

Sähkö voi kulkea sellaisen aineen läpi, jonka rakenne antaa elektronien liikkua vapaasti. Metalleista kuparilla on ”vapaita” elektroneja, jotka pystyvät liikkumaan vapaasti kuparin rakenteen läpi, mikä tekee mahdolliseksi sähkövirran kulun. Kumissa taas elektronit ovat tiukasti sidottuja eikä siinä ole ”vapaita” elektroneja, minkä vuoksi sähkövirta ei voi lainkaan kulkea kumin läpi. Kumilla onkin huono johtavuus ja suuri vastus sähkövirralle, kun taas kuparilla on hyvä johtavuus ja pieni vastus sähkövirralle.

Kiinteissä aineissa varauksen kuljettajia ovat elektronit. Tämä johtuu siitä, että protonit muodostavat yhdessä neutronien kanssa atomin ytimen ja elektronin liikkuvat tämän ytimen ympärillä. Atomin ytimet harvoin liikkuvat, kun taas sen ympärillä olevat elektronit ovat jo valmiiksi liikkeessä, joten elektronit ovat luonnollisia varauksen kuljettajia.

Materiaalit johtavat eri tavoin sähköä. Hyvin sähköä johtavassa materiaalissa elektronit pääsevät liikkumaan paremmin. Esimerkiksi kupari johtaa hyvin sähköä, jolloin elektronit pääsevät liikkumaan vapaasti. Huonosti sähköä johtavissa materiaaleissa, kuten muovissa ja kumissa, elektronit taas eivät pääse liikkumaan ollenkaan.



Puolijohteita, johteita ja eristeitä

Aineet voidaan jakaa johtavuudeltaan **johteisiin**, **puolijohteisiin** ja **eristeisiin**. Johteissa elektronit pääsevät liikkumaan vapaasti, ja niissä on paljon vapaita elektroneja. Puolijohteet taas ovat eristäviä alhaisissa lämpötiloissa ja

johtavia normaalilämpötilassa. Puolijohteisiin voidaan virittää elektroneja lämmön, valon tai seosaineiden avulla. Tällöin ne saadaan sähköä johtaviksi. Eristeissä ei ole vapaita elektroneja, eivätkä ne johda sähköä ollenkaan. Seuraavassa taulukossa on tyypillisiä johteita, puolijohteita ja eristeitä.

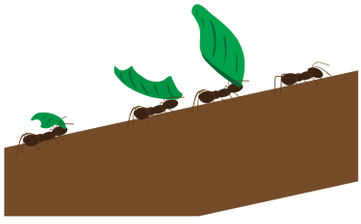
Johteita	Puolijohteita	Eristeitä
Kupari	Germanium	Kumi
Alumiini	Pii	Lasi
Hopea		Muovi
Rauta		Posliini

Jotta sähkövirta voi lopullisesti voi kulkea, tarvitaan jotain työntämään elektronit liikkeelle. Tällaista voimaa kutsutaan **sähkömotoriseksi voimaksi eli lähdejännitteeksi**. Paristo riittää tuottamaan tarpeeksi sähkömotorista voimaa, joka laittaa elektronit liikkeelle. Sähkömotorinen voima tunnetaan paremmin nimellä **jännite**.

Lähdejännite on jännitelähteen teoreettinen jännite. Kaikissa sähkölaitteissa on sisäistä resistanssia, minkä takia hyödynnettävä jännite on aina pienempi kuin teoreettinen jännite. Kun mitataan jännitelähteen jännitettä, mitataan sen napajännitettä.

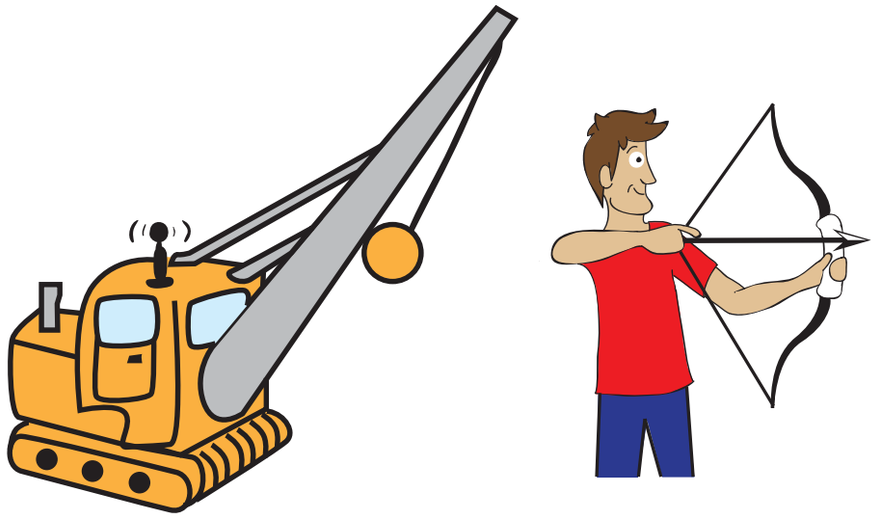
Sähkövirran kulku ei kuitenkaan ole mutkatonta. Aina kun on sähkövirtaa, on myös jokin, joka vastustaa sen kulkua. Tämä on nimeltään **resistanssi**.

Elektronit liikkuvat virtapiirissä muurahaisten tavoin.



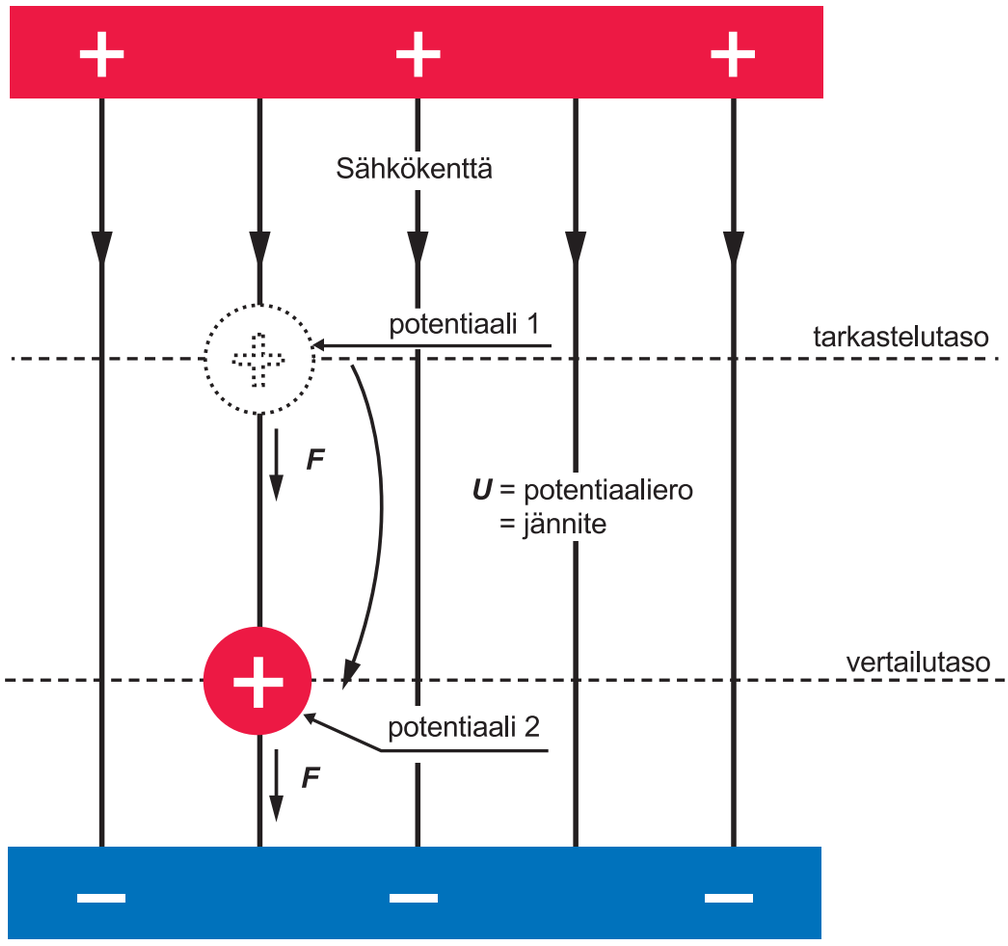
Sähkövirta on elektronien jatkuvaa ja vakaata liikettä. Kun elektronit liikkuvat paikasta toiseen virtapiirissä, ne kantavat mukanaan sähköenergiaa samalla tavoin kuin jonossa marssivat muurahaiset kantaessaan pesään lehden palasia. Lehtien kantamisen sijaan elektronit kantavat pienen pientä määrää sähkövarausta.

Potentiaalienergia tarkoittaa varastoitunutta energiaa. Esimerkiksi kaivurin painava metallipallo on varastoinut energiaa, kun se pidetään yläasennossa. Heti kun pallo päästetään heilumaan, potentiaalienergia muuttuu kineettiseksi energiaksi. Samoin jousiampujan jännitetty jousi on varastoinut potentiaalienergiaa ennen kuin nuoli päästetään matkaan. Energia ilmoitetaan jouleina (J) kuten myös potentiaalienergia.



▲ Esimerkkejä potentiaalienergiasta: kaivurin yläasennossa oleva metallipallo ja jännitetty jousi

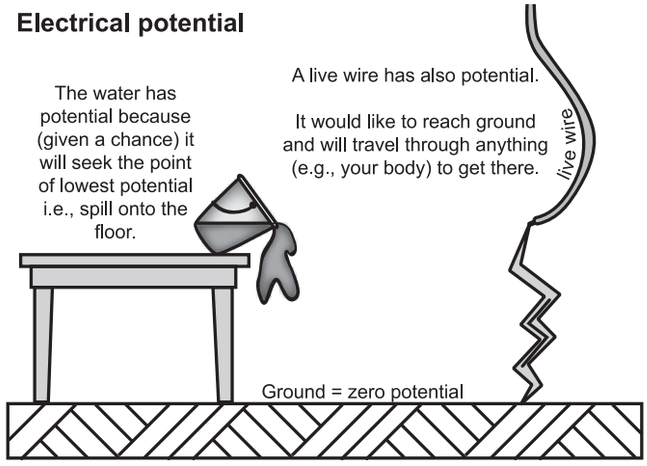
Sähkökentässä potentiaalilla tarkoitetaan energiaa, joka tarvitaan yksittäisen varauksen siirtämiseksi paikasta toiseen. Kahden pisteen välistä **potentiaalieroa** kutsutaan jännitteeksi.



▲ Sähkökentän potentiaalit ja potentiaaliero

Kuvassa ämpärissä olevaan veteen on varastoitunut potentiaalienergiaa ennen kuin se läikkyy yli reunojen. Kun vesi läikkyy ämpäristä, se pyrkii matalimpaan mahdolliseen potentiaaliin. Näin tapahtuu myös sähköjohdossa: sähkö pyrkii matalimpaan mahdolliseen potentiaaliin eli maahan. Päästäkseen matalampaan potentiaaliin sähkö käyttää mitä tahansa johtavaa materiaalia kulkureittinään. Pahimmassa tapauksessa tämä tapahtuu ihmiskehon kautta, kun ihminen saa sähköiskun.

electrical	sähköinen
potential	potentiaali
seek	pyrkiä
point	piste
lowest	matalin
live wire	virrallinen johdin
reach	saavuttaa
ground	maataso
conductivity	sähkön johtavuus



Maahan yhteydessä olevien sähköjärjestelmien vertailupisteenä eli nollapotentiaalina on maan potentiaali. Tutkittavan pisteen ja maan välinen potentiaaliero eli jännite voidaan näin ollen mitata jännitemittarilla. Maasta erillään oleviin järjestelmiin, kuten piirilevyyn, voidaan potentiaalipisteeksi valita mikä potentiaalitaso tahansa ja kutsua sitä nollapisteeksi. Levyn muiden pisteiden potentiaalit saadaan selville mittaamalla niiden potentiaaliero nollapisteen välillä.

TEHTÄVIÄ

1 Ympyröi oikeat vaihtoehdot:

Sähkövirta on	Jännite
a) protonien liikettä	a) pakottaa elektronit liikkeelle
b) elektronien liikettä	b) pitää elektronit paikoillaan
c) neutronien liikettä	c) pitää yllä sähkövirtaa

TEHTÄVIÄ

2 Sähkötekniikan kolme perussuuretta ovat virta, jännite ja resistanssi. Mistä suureesta on seuraavissa tapauksissa kysymys?

Saa aikaan lampun palamisen

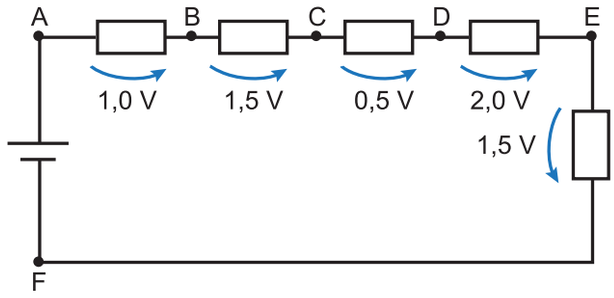
Ylläpitää sähköenergian siirtymistä

Estää oikosulun

Saa aikaan sähkökiukaan lämpenemisen

---

3 Kuvan kytkennässä on mittauspisteet A–F. Merkitse taulukkoon kunkin pisteen potentiaali ilmoitettuun nollatasoon verrattuna.



	Potentiaali/V					
Nollataso	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A						
B						
C						
D						
E						
F						

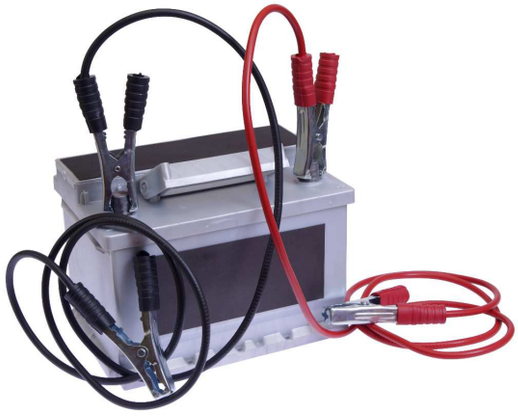
Suljettu virtapiiri ja avoin virtapiiri

Virtapiiri on ihmisen tapa hallita sähköä. Virtapiirin osia ovat

- jännitelähde
- kuorma
- johtimet
- kytkin.

Jännitelähde pitää yllä varauseroa. Erilaisia jännitelähteitä ovat paristot, akut ja generaattorit. Paristoja ja akkuja käytetään muun muassa erilaisissa kannettavissa elektroniikkalaitteissa. Generaattoreita taas käytetään dynamoissa ja sähkövoimaloissa.

▲ Paristoja



▲ Akku

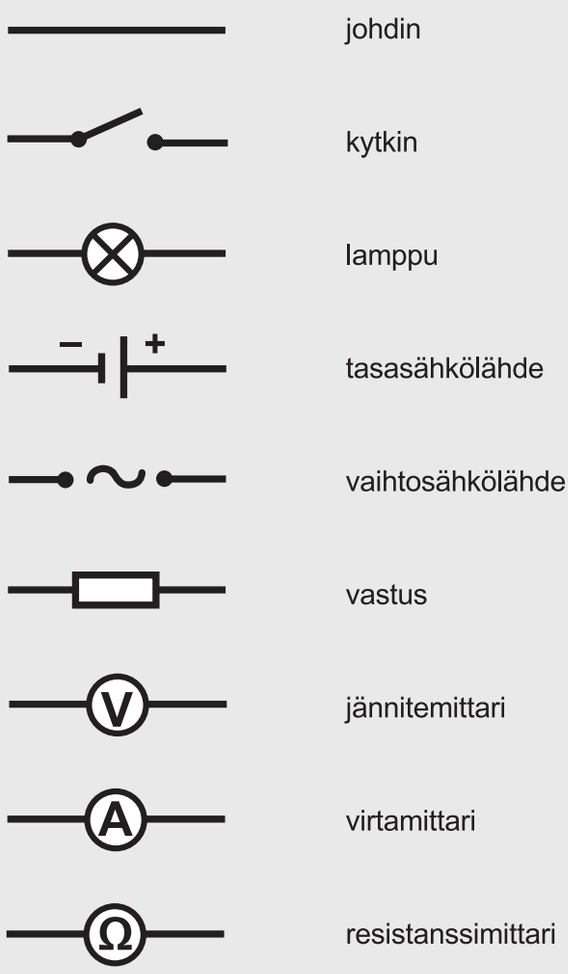
Ylikuorma rasittaa sähkön tuotantoa ja sähkön siirtoa liikaa

Sähkötekniikassa **kuormalla** tarkoitetaan sähkölaitetta, joka kuluttaa sähköä. Kuorma voi olla lamppu, moottori tai jokin elektroninen laite, kuten vahvistin, televisio tai puhelin.

Johtimet ovat sähköä johtavasta materiaalista (useimmiten kuparista tai alumiinista) valmistettuja lankoja tai monen langan yhdistelmiä, jotka muodostavat varauksille kulkuväylän. Virtapiirissä johtimilla ohjataan jännitelähteen varauserosta aiheutuva varausten purkautuminen haluttua reittiä pitkin jännitelähteeltä kuormalle ja edelleen jännitelähteelle. Tätä varausten liikettä kutsutaan sähkövirraksi.

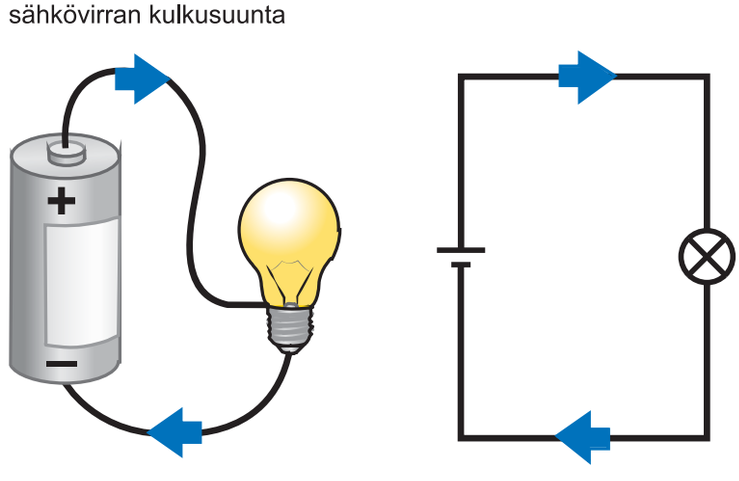
Oikosulku on epätoivottu tilanne, jossa kaksi sähköjohdinta koskee toisiaan tilanteessa, jossa niiden ei ole tarkoitus olla kosketuksissa. Oikosulku aiheuttaa aina ylikuormatilanteen.

Piirrosmerkkejä



Kytkentäkaavioiden piirrosmerkkejä

On suljettuja ja avoimia virtapiirejä. Kun johtimet muodostavat sähkövirralle reitin siten, että se pääsee kulkemaan jännitelähteen navalta toiselle, puhutaan suljetusta virtapiiristä. Kun taas johdin on katkaistu, jolloin sähkövirta ei pääse kulkemaan, puhutaan avoimesta pirtapiiristä. Usein virtapiirin katkaiseminen mahdollistetaan tarkoituksellisesti kytkimellä, jotta laite pystytään sammuttamaan.

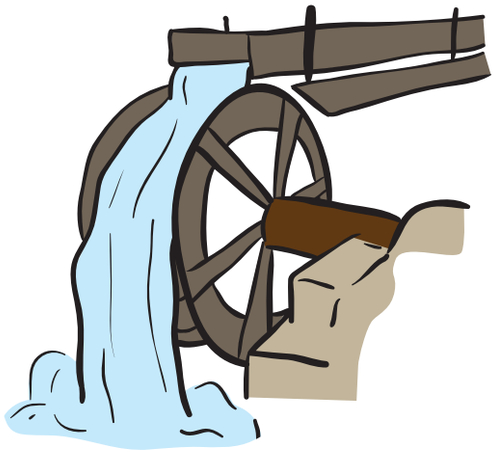


suljettu virtapiiri

kytkentäkaavio

Virtapiiriä voidaan myös havainnollista virtausopin kautta alla olevan kuvan mukaisesti. Kuvassa luonnonilmiöt, jotka siirtävät veden yläjuoksulle, toimivat jännitelähteenä. Vastaavasti siipiratas on kuorma ja kanavat, joilla vettä ohjataan siipirattaaseen, ovat johtimia.

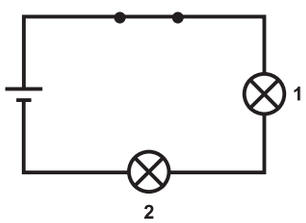
electricity	sähkö
flow	virta
electron	elektroni
circuit	piiri



TEHTÄVIÄ

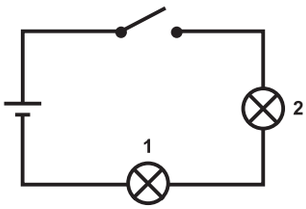
1 Avoin ja suljettu virtapiiri. Mitkä lampuista palavat?

1.



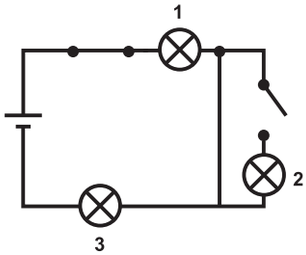
V:.....

2.



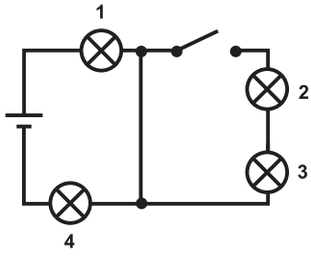
V:.....

3.



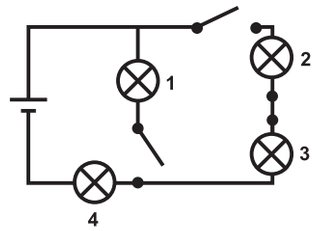
V:.....

4.



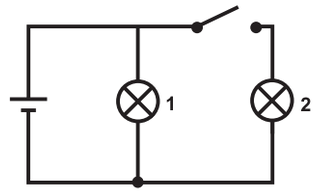
V: .....

5.



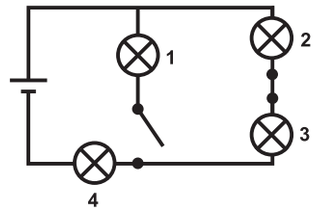
V:.....

6.



V:.....

7.



V:.....

Suureet ja yksiköt

Suure on aineen mitattava ominaisuus, ja suureen arvoa mitataan yksiköinä. Luonnonilmiöiden mitattavat ominaisuudet ovat suureita. Esimerkiksi ilmauksessa ”Sähkövirta on 1 A (ampeeri)” sähkövirta on suure, 1 on lukuarvo ja ampeeri on mittayksikkö.

Resistanssin suuretunnus on **R** ja mittayksikkö **Ω** (ohmi).

Sähkövirran suuretunnus on **I** ja mittayksikkö **A** (ampeeri).

Jännitteen suuretunnus on **U** ja mittayksikkö **V** (voltti).

Resistanssi kuvaa komponentin kykyä vastustaa virran kulkua. Elektroniikassa monelle komponentille on mitattu sen tulojen ja lähtöjen resistanssit. Tulon resistanssi on yleensä hyvin suuri, koska komponentin ei haluta kuluttavan virtaa, kun sitä käytetään. Lähdön resistanssi taas on yleensä pieni, koska komponentille halutaan hyvä virranajokyky. Kappaleille resistanssi pystytään laskemaan sen fyysisten mittojen ja aineen resistiivisyyden avulla.

Sähkövirralla kuvataan varausten liikkeen määrää materiaalissa plussasta miinukseen. Esimerkiksi johtimessa se tarkoittaa sitä, kuinka monta elektronia kulkee johtimen poikkipinta-alan läpi tietyssä aikayksikössä. Elektronien suunta virtapiirissä on miinuksesta plussaan. Aikoinaan on kuitenkin sovittu, että sähkövirta kulkee plussasta miinukseen eli toiseen suuntaan kuin elektronien virta on. Virtapiireissä sähkövirta kulkee johtimissa.

Jännitteellä kuvataan sitä erimerkkisten sähkövarauskertymien aiheuttamaa voimaa, joka pyrkii tasaamaan varauseroja ja siten työntää elektronit liikkeelle muodostaen sähkövirran.

TEHTÄVIÄ

1 Etsi ristikosta 20 sähköön liittyvää sanaa.

R	K	F	T	O	O	V	X	E	V	A	R	A	U	S
E	V	O	L	T	T	I	J	L	S	F	G	S	U	P
S	Y	R	D	G	U	R	Y	E	Ä	A	K	K	U	P
I	J	Ä	N	N	I	T	E	K	H	P	R	D	S	A
S	Y	T	T	V	O	A	R	T	K	U	O	R	M	A
T	Q	A	Q	I	I	D	I	R	Ö	O	H	M	I	K
A	J	S	T	R	K	W	S	O	L	L	K	P	Ö	Ä
N	P	A	C	T	O	B	T	N	Ä	I	K	J	H	M
S	A	S	C	A	S	N	E	I	H	J	O	H	D	E
S	R	Ä	F	P	U	N	N	J	D	O	O	P	I	U
I	I	H	O	I	L	K	I	H	E	H	I	U	U	K
E	S	K	E	I	K	U	N	J	E	D	A	A	I	D
S	T	Ö	U	R	U	U	A	M	P	E	E	R	I	S
A	O	V	O	I	M	A	L	A	I	T	O	S	U	T
A	I	V	A	I	H	T	O	S	Ä	H	K	Ö	T	I

▲ Yleismittari

Suureiden mittaaminen yleismittarilla

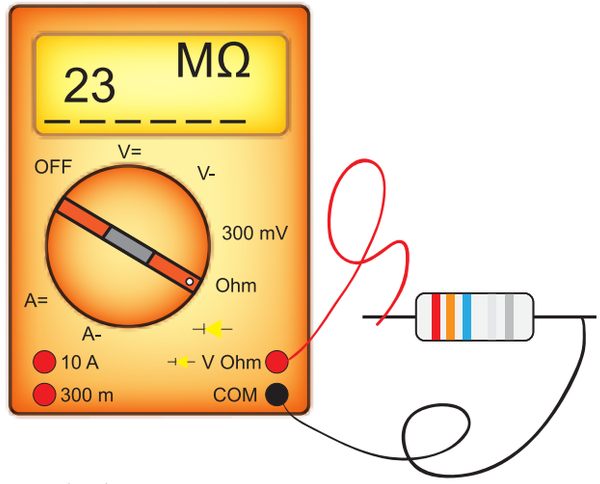
Yleismittaria käytetään tasasähkö- ja elektroniikkapiirien mittauksissa. Sillä voidaan mitata useita eri suureita, joista tärkeimmät ovat resistanssi, jännite ja virta. On tärkeää osata mitata jännite ja virta, jotta varmistutaan arvojen pysymisestä sallituissa arvoissa. Liian suuret virrat ja jännitteet rikkovat komponentit ja laitteet.

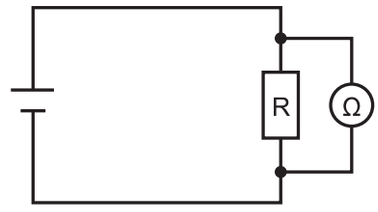
Resistanssin mittaaminen

Mitattavat resistanssiarvot voivat vaihdella mitattavan kohteen mukaan hyvinkin paljon. Johtimien resistanssia mitattaessa arvot ovat pieniä, alle 2 ohmia, kun taas eristeis-

sä arvot ovat hyvin suuria, miljoonia ohmeja. Mittaustulos voi olla myös ääretön, mikä yleensä tarkoittaa, että mitattava arvo ylittää mittarin kapasiteetin. Ensin resistanssin mittausta harjoitellaan mitattaessa vastusten arvoja.

Kun resistanssia mitataan, mitattavan laitteen ja virtapiirin pitää olla **jännitteettömiä**.



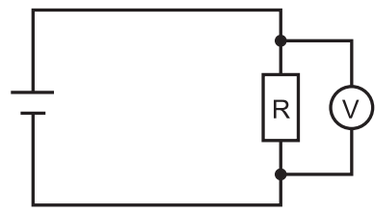


▲ Resistanssimittari kytketään mitattavan laitteen kanssa rinnan.

Jännitteen mittaaminen

Yksi yleisimmistä mittauksista, joka yleismittarilla tehdään, on jännitteen mittaus. Tasasähkötekniikassa mitataan tasajännitettä. Hyviä tasajännitteen lähteitä ovat akut, paristot ja tasajännitelähde. Jännitemittari kytketään mitattavan laitteen kanssa **rinnan**.

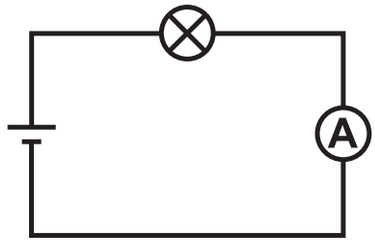
Kun mitataan tuntematonta jännitettä, aloitetaan aina suurimmasta mittausalueesta. Jos jännite on suurempi kuin mittausalue, vaarana on mittarin vaurioituminen.



Virran mittaaminen

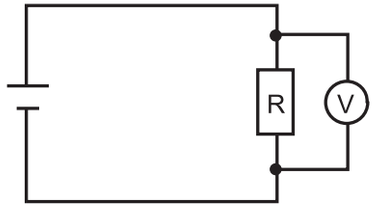
Virran mittaaminen poikkeaa muista yleismittarilla tehdyistä mittauksista. Jotta virta voidaan virtapiiristä mitata, yleismittari pitää kytkeä sarjaan mitattavan piirin kanssa. Virtamittari saadaan sarjaan, kun piiri katkaistaan ja mittari liitetään osaksi virtapiiriä. Piirin virta kulkee näin myös virtamittarin kautta. Virtamittari kytketään mitattavan laitteen kanssa **sarjaan**.

Jos yleismittari kytketään virtamittauksessa väärin, on vaarana mittarin hajoaminen tai vähintään sulakkeen palaminen.



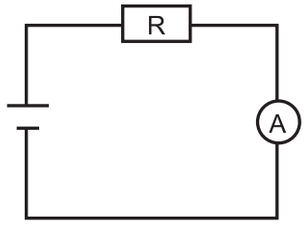
TEHTÄVIÄ

1 Tee kytkentä ja mittaa jännite.



R = 150 Ω
U = 24 V

2 Tee kytkentä ja mittaa virta.



R = 150 Ω
U = 24 V

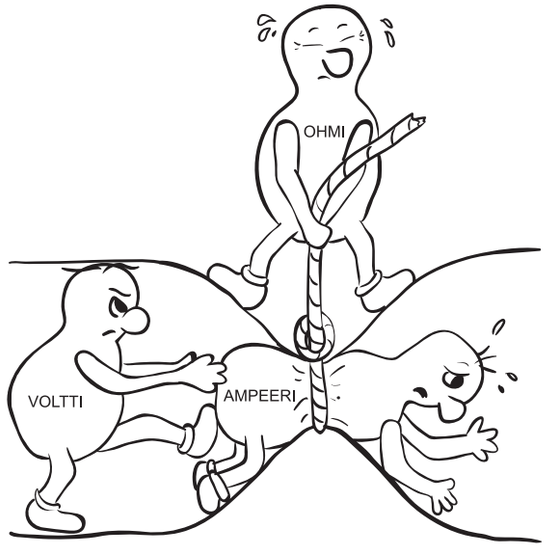
3 Seuraavissa mittauksissa saatiin tulokseksi $U = 3{,}0$ V ja $I = 200$ mA. Päättele, mitä virta- ja jännitemittarit näyttävät.

Virtapiirilait

Kaikki virtapiirit pystytään hallitsemaan kolmen virtapiirilain avulla, jotka ovat

- Ohmin laki
- Kirchhoffin jännitelaki
- Kirchhoffin virtalaki.

Ohmin laki

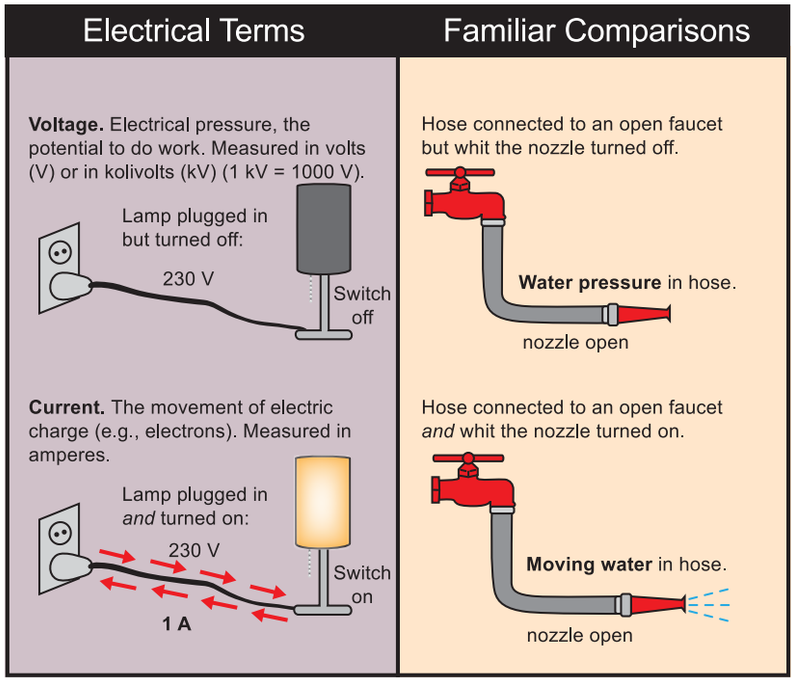


Jännite pyrkii laittamaan virtaa liikkeelle, ja vastus yrittää vastustaa virran kulkua.

Yksi tärkeimmistä perusasioista sähköalalla on Ohmin laki, joka selittää virran, jännitteen ja resistanssin suhdetta toisiinsa. Ohmin lain ymmärtäminen helpottuu, kun vertaa sitä puutarhan kasteluun letkulla. Vesi virtaa, kun hana avataan. Jos letkuun tulee mutka, veden virtaaminen joko hiljenee tai loppuu kokonaan. Kun letku suoristetaan, vesi virtaa jälleen samalla tavalla kuin aikaisemminkin. Jos vettä käytetään paljon muuallakin talossa, veden virtaaminen hiljenee ja paine laskee, kun pumppu ei pysty pumppaamaan sitä niin paljon kuin kulutetaan. Samalla tavoin käyttäytyy myös sähkövirta virtapiirissä. Sähkövirran suuruus määräytyy jännitteen (veden paine) suuruudesta ja vastuksen resistanssista (letkun mutka). Ohmin laki tarkoittaa, että vastuksen läpi kulkeva sähkövirta on suoraan verrannollinen vastuksen yli vaikutta-

vaan jännitteeseen eli vastuksen läpi kulkeva virta on sitä suurempi, mitä suurempi jännite vastuksen yli vaikuttaa. Toisaalta myös mitä suurempi virta vastuksen läpi kulkee, sitä suurempi on vastuksen yli oleva jännite.

voltage	jännite
electrical	sähköinen
pressure	paine
current	virta
movement	liike
electric charge	sähkövaraus
hose	letku
faucet	hana
nozzle	suutin

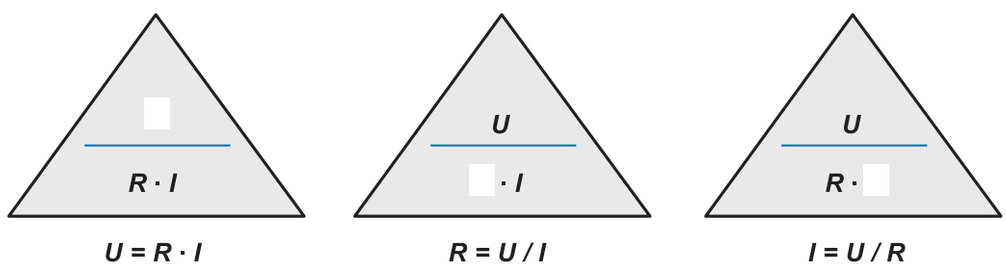


Yleisesti Ohmin laki kirjoitetaan muotoon

$$U = R \cdot I$$

jossa U = jännite, R = johtimen resistanssi ja I = piirissä kulkeva virta.

Virtapiirejä laskettaessa Ohmin lain avulla pystytään ratkaisemaan vastusten arvoja, niiden läpi kulkevia virtoja ja yli olevia jännitteitä. Tavallisesti jokin näistä kolmesta suureesta on tuntematon ja se ratkaistaan Ohmin lain avulla, kun kaksi muuta tunnetaan. Jos Ohmin lain matemaattinen ratkaiseminen tuntuu vaikealta, apuna voi käyttää alla olevan kuvan mukaista muistikolmiota.



▲ Muistikolmiosta voidaan ratkaista suure peittämällä se.

TEHTÄVIÄ

1 Ratkaise puuttuva suure ja merkitse se taulukkoon.

U	*R*	*I*
	100 Ω	2 A
600 V	100 Ω	
15 V		1 A
	20 Ω	5 A
30 V	10 Ω	
5 V		1 A
230 V		10 A

2 Ratkaise puuttuva suure ja merkitse se taulukkoon.

U	*R*	*I*
12 kV	200 Ω	
	1,5 kΩ	20 mA
24 mV		2 A
	3,6 kΩ	160 mA
3 kV	12 MΩ	
	300 kΩ	20 µA
12 MV	6 kΩ	

3 Sähkölämmittimen läpi kulkee 3,5 A:n virta, kun jännite on 230 V. Kuinka suuri lämpöelementin resistanssi suunnilleen on? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 805 Ω b) 68,5 Ω c) 150 m Ω d) 66 Ω

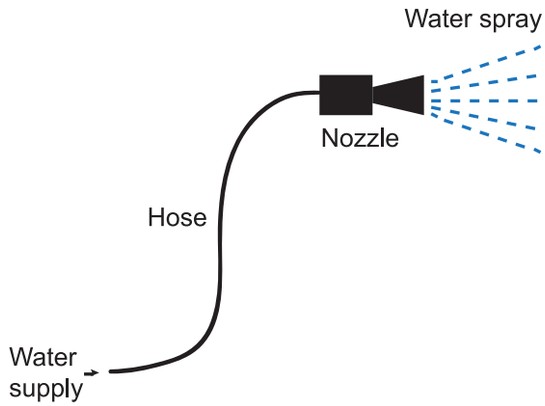
4 11 Ω:n vastuksen läpi kulkee 750 µA:n virta. Mikä on vastuksen jännitehäviö? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 8,25 V b) 82,5 V c) 14,6 V d) 146 V

5 Minkä kokoinen vastus tarvitaan, kun piirissä vaikuttavat 12 V:n jännite ja 3,6 mA:n virta? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 3,3 Ω b) 3,3 kΩ c) 43,2 kΩ d) 43,2 mΩ

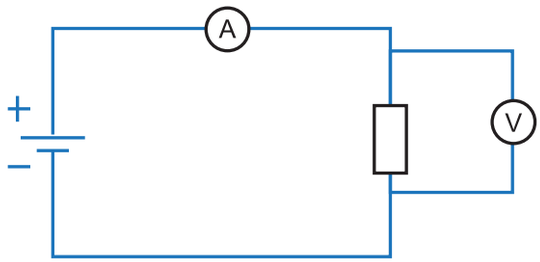
6 Kummasta hanasta tulee enemmän vettä: hanasta, jossa veden virtausta on rajoitettu laittamalla hanaa hieman kiinni, vai hanasta, jossa veden virtausta ei ole rajoitettu mitenkään vaan hana pidetään täysin auki? Selitä myös, kuinka tämä liittyy jännitteeseen, virtaan ja resistanssiin yksinkertaisessa virtapiirissä.



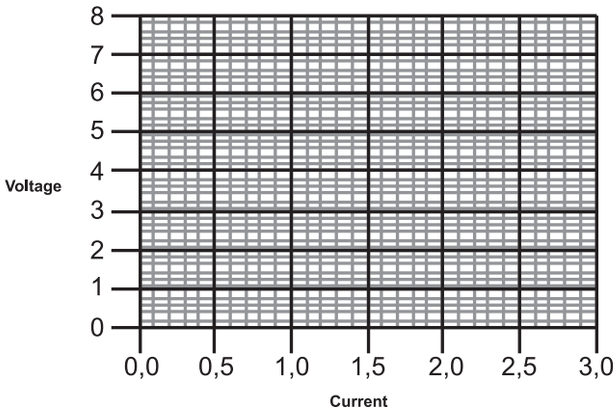
7 Oheisesta virtapiiristä on mitattu vastuksen jännitehäviö ja vastuksen läpi menevä virta.

Seuraavassa taulukossa ovat mittauksessa saadut arvot:

Virta/A	Jännite/V
0,22	0,66
0,47	1,42
0,85	2,54
1,05	3,16
1,50	4,51
1,80	5,41
2.00	5,99
2,51	7,49



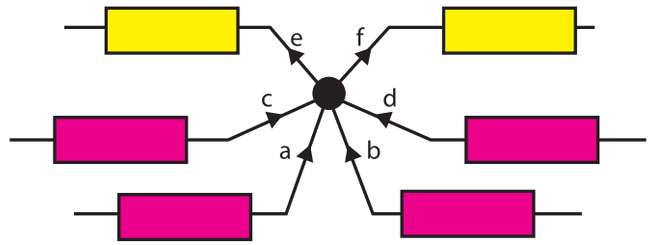
Sijoita arvot alla olevaan kuvaajaan.



Mikä matemaattinen yhteys kuvaajan perusteella on jännitteen ja virran välillä?

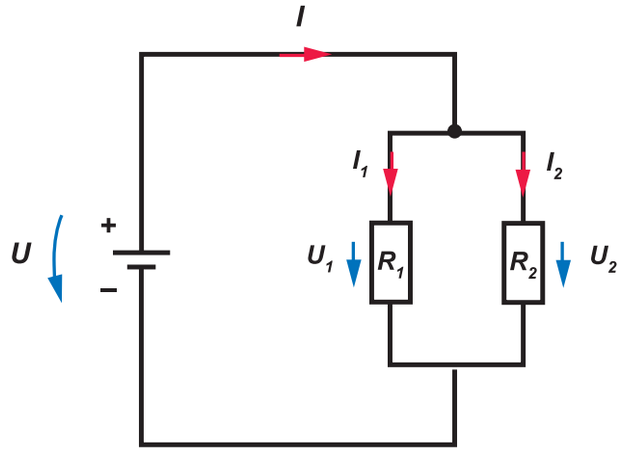
Kirchhoffin virtalaki

Kirchhoffin virtalain mukaan piirikaavion solmupisteestä lähtee yhtä suuri virta kuin sinne tulee.

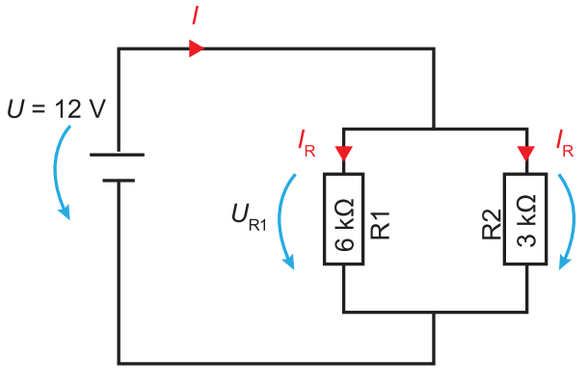


Kirchhoffin virtalain mukaan a + b + c + d = e + f eli solmupisteeseen tulevien virtojen summa on yhtä suuri kuin siitä lähtevien virtojen summa.

Koska sähkövirta on varausten liikettä, varaukset eivät kasaannu johtimien liitoskohtiin. Kuvassa virtojen suunnat esitetään nuolilla. Virta I tulee solmupisteeseen ja virrat I_1 ja I_2 lähtevät solmupisteestä, eli solmupisteeseen tuleva virta on yhtä suuri kuin solmupisteestä lähtevien virtojen summa: $I = I_1 + I_2$.



ESIMERKKI



$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{6\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

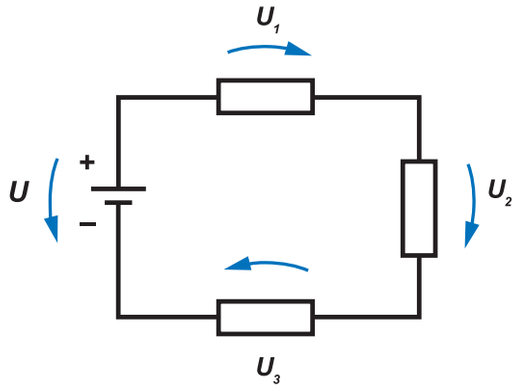
$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12\ \text{V}}{3\ \Omega} = 4\ \text{A}$$

$$I = I_1 + I_2 = 2\ \text{A} + 4\ \text{A} = 6\ \text{A}$$

Kirchhoffin jännitelaki

Kirchhoffin jännitelain mukaan suljetun virtapiirin jännitehäviöiden summa sarjapiirissä on yhtä suuri kuin piirin lähdejännite.

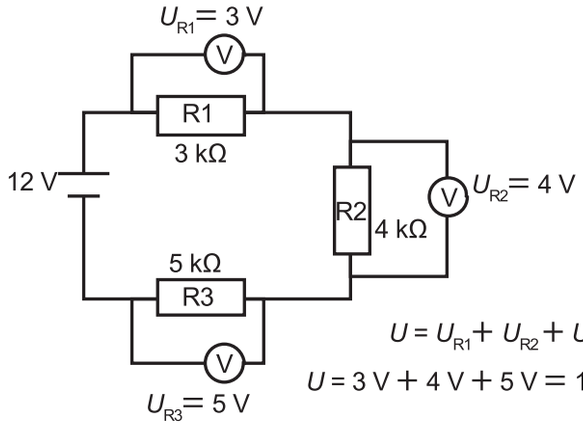
Jännitteellä vastuksen ja jännitelähteen yli on aina jokin suunta, joka kuvassa esitetään nuolilla.



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

ESIMERKKI

Lasketaan kolmen vastuksen jännitehäviöt virtapiiristä.

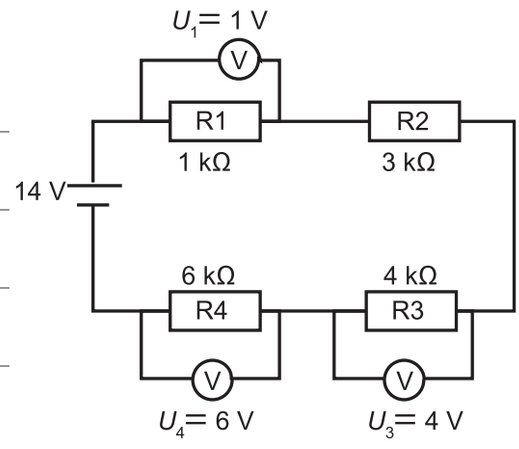


$U = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}$

$U = 3\ \text{V} + 4\ \text{V} + 5\ \text{V} = 12\ \text{V}$

TEHTÄVIÄ

1 Ratkaise U_{R2}.



Sähköteho

Tiedetään, että 100 watin lamppu valaisee kirkkaammin ja kuumenee enemmän kuin 25 watin lamppu. Samaan jännitteeseen kytkettynä 100 watin lamppu myös ottaa verkosta suuremman virran kuin 25 watin lamppu. Jos lamppuun vaikuttavaa jännitettä pienennetään, lamppu ei ole enää yhtä kirkas ja sen läpi menevän virtakin pienenee. Teho, jännite ja virta ovat riippuvaisia toisistaan.

Sähköteho voidaan laskea virran ja jännitteen avulla.

Sähköteho (W) = jännite (V) · virta (A)

$$P = U \cdot I$$

Tästä tehon perusyksiköksi saadaan

voltti · ampeeri = watti

$$[P] = \mathrm{V} \cdot \mathrm{A} = \mathrm{W}$$

ESIMERKKI

23 W:n energiasäästölamppu kytketään verkkoon, jonka jännite on 230 V. Kuinka suuri virta kulkee lampun läpi?

Vastaus: Lasketaan virta lampun tehon ja jännitteen avulla.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{23\ \mathrm{W}}{230\ \mathrm{V}} = 0{,}1\ \mathrm{A}$$

ESIMERKKI

50 W:n halogeenilamppu kytketään 230 V:n verkkojännitteeseen. Kuinka suuri virta tällöin kulkee lampun läpi?

Vastaus: Lasketaan kuten edellisessä esimerkissä ja saadaan virran suuruudeksi 0,22 A.

Mitä suurempi on laitteen teho, sitä suurempi virta sen läpi kulkee.

ESIMERKKI

Sarjaankytketyssä kynttelikössä kaikki lamput ovat samanlaisia. Tällöin yksittäisen lampun teho voidaan laskea jakamalla koko laitteen teho lamppujen lukumäärällä. Tämä on kuitenkin erikoistapaus.

Seitsemänlamppuinen kynttelikkö liitetään 230 V:n jännitteeseen. Virraksi mitataan 60 mA.

a) Kuinka suuri on valaisimen sähköverkosta ottama teho?

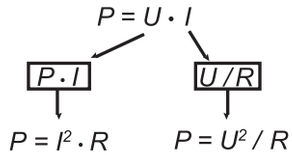
$$P = UI = 230\ \text{V} \cdot 0{,}06\ \text{A} = 13{,}8\ \text{W}$$

b) Kuinka suuri on yhden lampun teho?

Koska kaikki lamput ovat samanlaisia, niiden tehokin on sama. Tällöin yhden lampun tehoksi saadaan

$$P_1 = \frac{P}{7} = \frac{13{,}8\ \text{W}}{7} = 1{,}97\ \text{W}$$

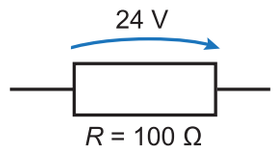
Teho saadaan lasketuksi myös toisin. Ohmin lain mukaisesti jännitteen paikalle voidaan kirjoittaa virran ja resistanssin tulo ja virran paikalle jännitteen ja resistanssin osamäärä. Näin saadaan teholle kaksi yhtälöä lisää:



ESIMERKKI

Kuinka suuri tehohäviö syntyy 100 Ω:n vastuksessa, kun siihen vaikuttaa 24 V:n jännite?

Koska vastuksessa sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi, vastuksen on kestettävä tämä lämpö hajoamatta eikä se saa myöskään tulla ympäristölleen vaaralliseksi. Tämän vuoksi vastuksen tehonkeston pitää varsinkin pienillä resistansseilla olla riittävä.



Ratkaisu:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(24\ \text{V})^2}{100\ \Omega} = 5{,}76\ \text{W} \approx 5{,}8\ \text{W}$$

TEHTÄVIÄ

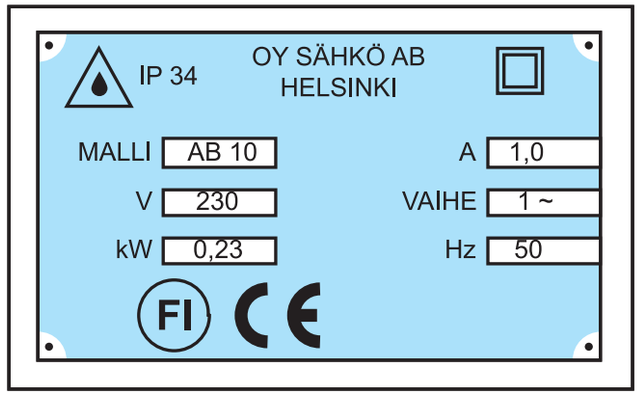
1. Sähköporakoneen läpi kulkee 4,8 A:n virta, kun se on kytketty 230 V:n jännitteeseen. Kuinka suuri on sähköporakoneen teho?

2. Mikroaaltouunissa on merkinnät ”800 W / 230 V”. Mikä on mikroaaltouunin läpi kulkevan virran suuruus?

3. Virtapiirissä on 10 A:n sulake. Piiriin on kytketty kahvinkeitin (1000 W), astianpesukone (2400 W) ja pölynimuri (700 W). Laske, kestääkö sulake laitteiden yhtäaikaisen käytön.

Sähkölaitteisiin on merkitty käyttäjälle tarpeellista tietoa sähköisistä arvoista. Nämä sähköiset arvot ovat nimeltään **nimellisarvoja**. Leimattu jännite on nimellisjännite ja teho nimellisteho. Nimellisarvot ovat valmistajan ilmoittamia arvoja, jotka voivat normaalikäytössä hieman vaihdella.

ESIMERKKI



Kilpeen on leimattu laitteen nimellisarvot, jossa kerrotaan, että laite käyttää 230 V:n jännitettä, että sen teho on 0,23 W ja että kyseisellä jännitteellä se ottaa 1,0 A:n virran. Laitetta käytetään yksivaiheisena, jossa sähkön taajuus on 50 Hz.

Energian kulutus on riippuvainen sähkölaitteen tehosta. Teho ilmoitetaan laitteessa watteina (W) tai kilowatteina (kW). Energiankulutus taas ilmoitetaan kilowattitunteina (kWh) esimerkiksi sähkönkulutusmittarilla.

Sähkölaitteen kulutus voidaan laskea kertomalla teho käyttötuntien määrällä.

$$\text{Käytetty energia (kWh)} = \text{teho (W)} \cdot \text{aika (h)}$$
$$E = P \cdot t$$

ESIMERKKI

Kuinka paljon energiaa kuluu, kun 60 W:n tehoinen lamppu palaa 12 tuntia?

$E = P \cdot t$ eli $E = 60\ \text{W} \cdot 12\ \text{h} = 720\ \text{Wh} = 0{,}72\ \text{kWh}$

Käytetyn sähkön kustannukset lasketaan kertomalla käytetyn sähkön määrä sähkön hinnalla. Suomessa keskimääräinen sähkön hinta on 15 snt/kWh.

ESIMERKKI

Edellisen esimerkin lamppu kulutti 0,72kWh. Kuinka paljon lampun pitäminen palavana maksaa?

$$0{,}72\ \text{kWh} \cdot 15\frac{\text{snt}}{\text{kWh}} = 10{,}8\ \text{snt}$$

TEHTÄVIÄ

1 Laske, kuinka kauan pystyt käyttämään seuraavia laitteita yhdellä kilowattitunnilla:

a) 6 kW:n kiuas

b) 500 W:n hiustenkuivain

c) 400 W:n tietokone

d) 9,5 W:n ledlamppu

e) 1,1 kW:n pölynimuri

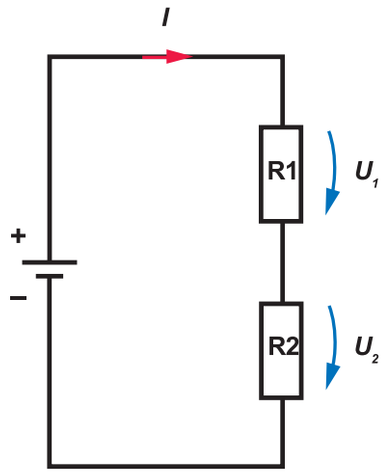
2 Laske kodin sähkölaitteiden sähkön kulutus vuorokauden aikana. Kustannukset ovat keskimäärin 15 snt/kWh.

Sähkölaite	Teho (W)	Käyttöaika	Sähkön kulutus (kWh)	Kustannukset (€)
Jääkaappi	120	4 h		
Liesi	3 000	30 min		
Mikroaaltouuni	1 300	5 min		
Astianpesukone	2 200	3 h		
Pakastin	500	4 h		
Kahvinkeitin	1 100	30 min		
Vedenkeitin	2 400	2 min		
Pyykinpesukone	2 200	4 h		
Kuivausrumpu	1 500	2 h		
Pölynimuri	1 100	1,5 h		
Televisio 55”	115	5 h		
Matkapuhelimen lataus	1	2 h		
Pöytätietokone	400	4 h		
Kattolamppu	57	8 h		
Jalkalamppu	40	6 h		
Ledlamppu	9,5	8 h		
Hiustenkuivaaja	1 400	5 min		
Sähköhammas-harja	6	2 min		
Silitysrauta	1 400	15 min		
Yhteensä (kaikki sähkölaitteet)				

Vastusten kytkennät

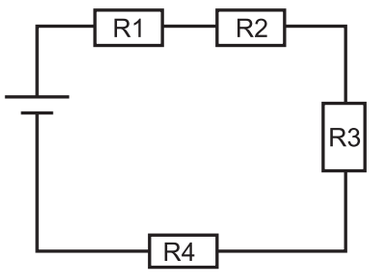
Sarjakytkentä

- Sarjakytkennässä vastukset on kytketty peräkkäin.
- Sarjakytkennän virta on sama jokaisessa piirin kohdassa, koska virralla on vain yksi reitti, jota se voi kulkea.
- Sarjakytkennässä jännitehäviö on resistanssista riippuvainen eli mitä suurempi resistanssi on, sitä suurempi on jännitehäviö.
- Sarjakytkennässä kokonaisjännitehäviö on osajännitehäviöiden summa eli $U = U_1 + U_2$.
- Kokonaisresistanssi on osaresistanssien summa: $R = R_1 + R_2$.



TEHTÄVIÄ

1 Laske kytkennän kokonaisresistanssi.



$R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 100\ \Omega$

$R_3 = 1\ \text{k}\Omega$

$R_4 = 7\ \text{k}\Omega$

2 Ympyröi oikea vaihtoehto.

1. Kytketään sarjaan kuusi 150 ohmin vastusta. Kuinka suuri on kokonaisvastuksen arvo? Ympyröi oikea vaihtoehto.

   a) 90 Ω b) 900 Ω c) 25 Ω d) 150 Ω

2. Joulukuusen sähkökynttelikköistä otetaan irti yksi lamppu, jolloin kaikki lamput sammuvat. Mikä kytkentä on kyseessä? Ympyröi oikea vaihtoehto.

   a) rinnankytkentä b) takaisinkytkentä c) sarjakytkentä d) ristikytkentä

3 Virtapiirissä jännite on vakio. Jos vastusta pienennetään puolella alkuperäisestä, miten virta muuttuu?

4 Virtapiirin vastusarvoa kasvatetaan kaksinkertaiseksi ja jännite pidetään samana. Miten virta muuttuu?

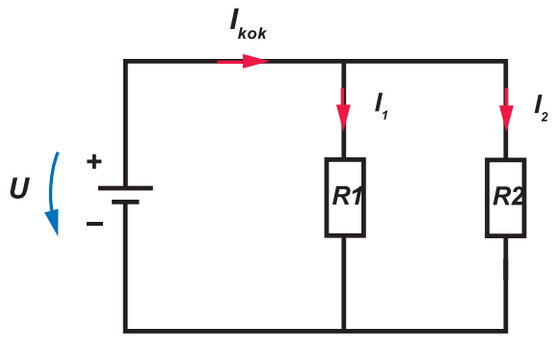
5 Neljä ledvalaisinta kytketään 18 V:n pariston kanssa sarjaan. Lamppujen tehot ovat 4 W, 9 W, 3 W ja 5 W. Kuinka suuri on piirin läpi kulkeva virta?

6 Ympyröi oikea vaihtoehto.

1. Yksittäisen sarjaankytketyn vastuksen jännitehäviö on
   a) pienempi kuin piirin syöttöjännite
   b) sama kuin piirin syöttöjännite
   c) suurempi kuin piirin syöttöjännite.
2. Jos piirissä on kaksi samanarvoista vastusta sarjaankytketty, vastusten jännitehäviöt ovat
   a) erisuuruiset
   b) samansuuruiset
   c) molemmat samansuuruisia kuin piirin syöttöjännite
   d) molemmat puolet piirin syöttöjännitteestä.

Piirrä neljän vastuksen sarjakytkentä, jossa vastuksien suuruudet ovat seuraavat: R1 = 50 Ω, R2 = 200 Ω, R3 = 300 Ω ja R4 = 150 Ω. Vastuksen R1 jännitehäviö on 10 V. Laske piirin virta ja päättele muiden vastusten jännitehäviöt. Laske piirin syöttöjännite. Laske, millä tehoilla vastukset lämpenevät.

Rinnankytkentä



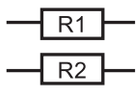
- Rinnankytkennässä vastukset on kytketty rinnakkain.
- Jokaisessa rinnankytkettyyn vastukseen vaikuttaa sama jännite.
- Rinnankytkennässä virta jakautuu osavirtoihin.
- Mitä suurempi resistanssi on, sitä pienempi virta on.
- Kokonaisvirta on osavirtojen summa, eli $I = I_1 + I_2$.
- Rinnankytkettyjen vastusten jännitehäviö on sama kaikkien vastusten yli.
- Kokonaisresistanssi rinnankytkennässä on aina pienempi kuin kytkennän pienin resistanssi.
- Kokonaisresistanssi lasketaan seuraavasti:

$$R = \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n} \right]^{-1}$$

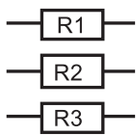
TEHTÄVIÄ

1 Piirrä vastukset siten, että ne ovat rinnan keskenään.

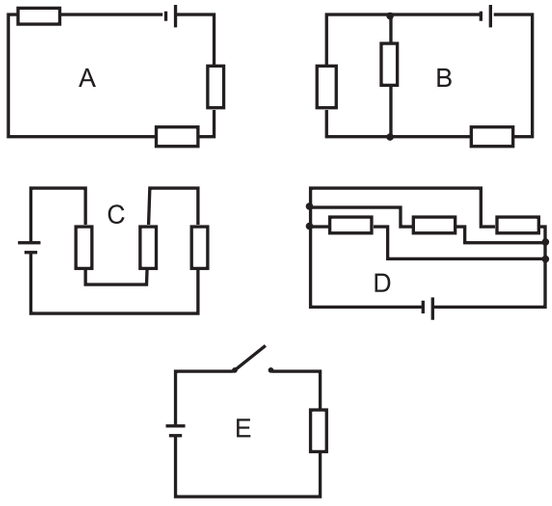
a)



b)



2 Mitkä alla olevista kytkennöistä on kytketty rinnan?

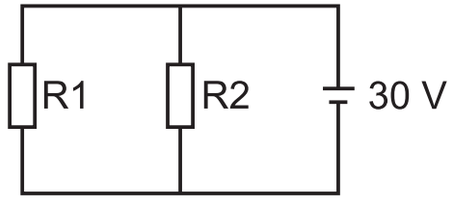


3 Rinnankytkettyjen vastusten kokonaisresistanssin laskemiseen on olemassa kaksi kaavaa. Toinen niistä pätee vain tilanteessa, jossa vastuksia on kaksi kappaletta. Toinen taas pätee kaikissa rinnankytkennän tilanteissa. Mitkä nämä kaavat ovat? Laske molemmilla kaavoilla laskut seuraavilla arvoilla:

1. R1 = 100 Ω ja R2 = 1 kΩ

2. R1 = 180 Ω ja R2 = 470 Ω

4 Laske kuvan kytkennän arvot taulukkoon.



R_1 = 15 kΩ

R_2 = 4,7 kΩ

	R_1	R_2	Total
U			
I			
R			
P			

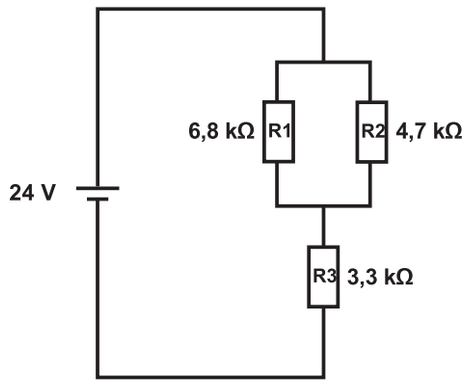
Sekakytkentä

ESIMERKKI

Sekakytkennän kokonaisresistanssi saadaan lasketuksi seuraavasti:

R1 ja R2 ovat rinnan keskenään, ja niiden kanssa sarjassa on R3. Lasketaan siis ensin rinnankytketyt vastukset:

$$R_{12} = \left[\frac{1}{6{,}8\,\mathrm{k\Omega}} + \frac{1}{4{,}7\,\mathrm{k\Omega}}\right]^{-1} = 2{,}8\,\mathrm{k\Omega}$$

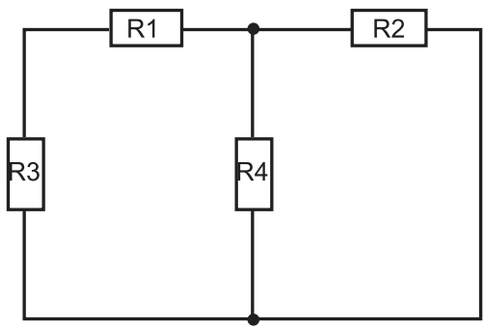


Tämän jälkeen lasketaan sarjakytkentä $R_{12} + R_3 = R_{12} + 3{,}3\ \mathrm{k\Omega} = 2{,}8\ \mathrm{k\Omega} + 3{,}3\ \mathrm{k\Omega} = 6{,}1\ \mathrm{k\Omega}$. Kytkennän kokonaisresistanssi on 6,1 kΩ.

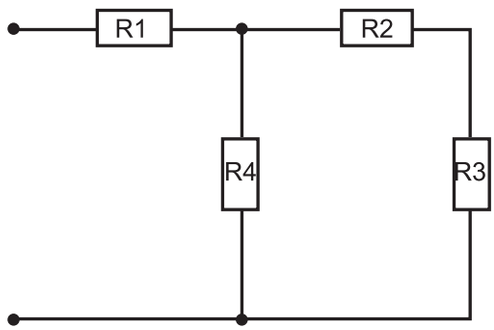
TEHTÄVIÄ

1 Mitkä vastuksista ovat sarjassa keskenään ja mitkä rinnan keskenään?

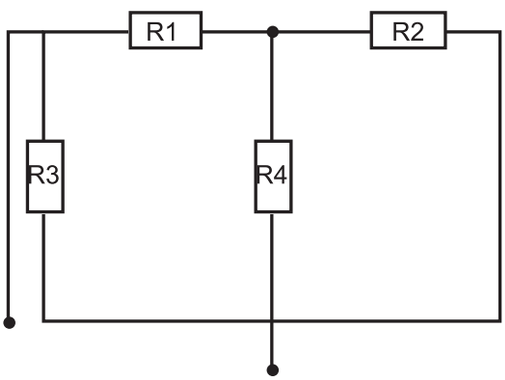
a)



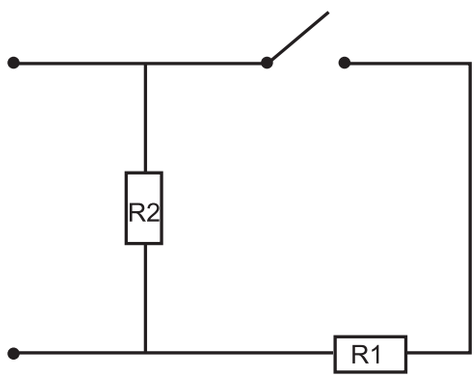
b)



c)

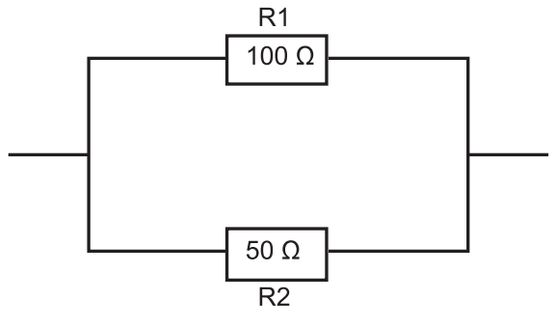


d)

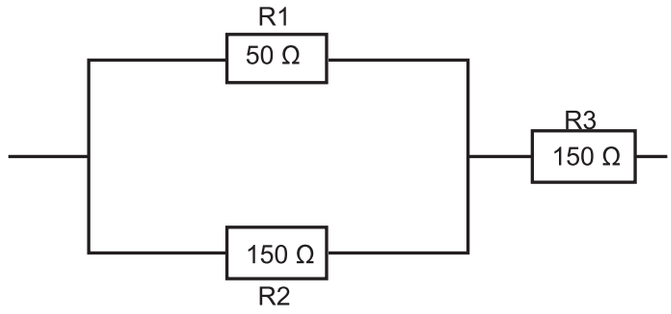


2 Laske vastuskytkennän kokonaisresistanssi.

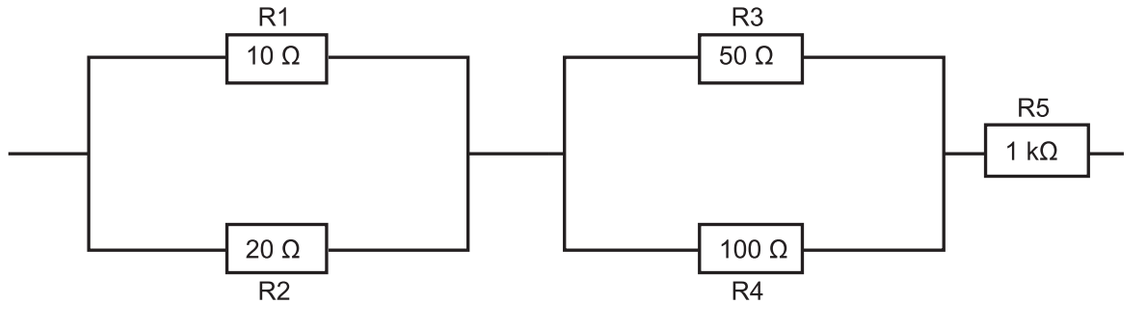
a)



b)



c)



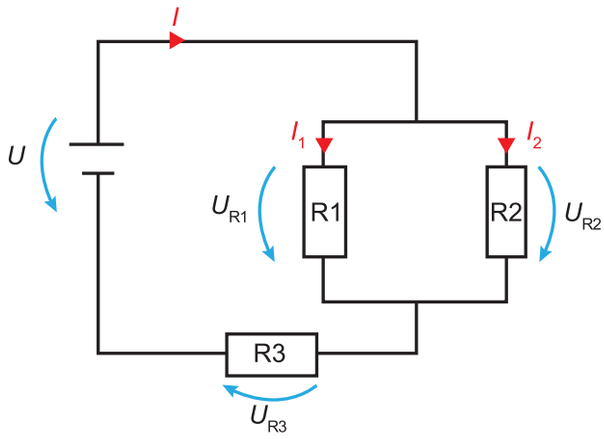
3 Laske puuttuvat arvot.

$R_2 =$

$I_1 =$

$I_2 =$

$U_{R1} =$



$R_1 = 500\ \Omega$

$U_{R2} = 4\ \text{V}$

$R_3 = 3\ \text{k}\Omega$

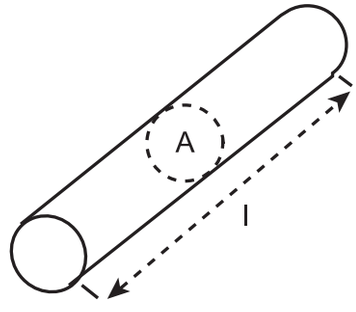
$R_{kok} =$

$I =$

$U_{R3} =$

$U =$

Johdon resistanssi



▲ Johdon resistanssi

$R_L = \rho \frac{l}{A}$, jossa

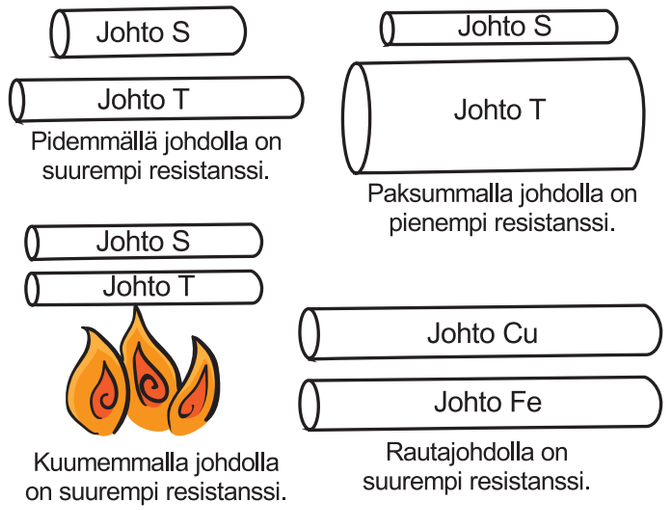
R_L = johdon resistanssi, Ω

ρ = johdinaineen resistiivisyys, $\frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}}$

l = johdon pituus, m

A = johdon poikkipinta-ala, mm^2

Ohmin lain mukaan johtimessa kulkeva sähkövirta on suoraan verrannollinen johtimen päiden välillä vaikuttavaan jännitteeseen eli piirin läpi kulkeva virta on sitä suurempi, mitä suurempi jännite johdon päiden välillä vaikuttaa.



Johdon suuri pinta-ala tarkoittaa, että elektroneilla on paljon tilaa liikkua. Tässä tapauksessa suuri pinta-ala aiheuttaa pienen resistanssin. Johdon suuri pituus taas tarkoittaa, että elektronien täytyy kulkea pitkä matka, jolloin suuri pituus aiheuttaa suuren resistanssin. Mitä korkeampi johdon lämpötila on, sitä suurempi on sen resistanssi. Myös materiaali vaikuttaa resistanssin suuruuteen.

Edellä todettiin, että lämpötila vaikuttaa resistanssiin. Kun lämpötila kasvaa, molekyylien värähtely lisääntyy, jolloin elektronit pääsevät kulkemaan huonommin aineessa. Toisaalta kuitenkin lämpötilan kasvu lisää vapaiden elektronien määrää, mikä parantaa aineen sähkönjohtokykyä.

Resistanssin muutos ΔR riippuu

- alkuperäisestä resistanssista R
- aineen lämpötilan muutoksesta Δt, joka saadaan seuraavasti: $\Delta t = t_2 - t_1$
- resistanssin lämpötilakertoimesta.

Resistanssin muutos voidaan laskea seuraavasti: $\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta t$.

ESIMERKKI

Yksittäisen kuparijohtimen pituus on 6,0 m ja halkaisija 0,80 mm. Mikä on johtimen resistanssi?

Kuparin resistiivisyys on 0,0175 $\frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$.

Vastaus: $l = 6{,}0\ \mathrm{m}$

$d = 0{,}40\ \mathrm{mm}$

$\rho_{cu} = 0{,}0175 \frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$

$A = ?,\ R_L = ?$

$A = \pi r^2 = \pi \cdot 0{,}40^2\ \mathrm{mm}^2 = 0{,}503\ \mathrm{mm}^2$

$$R_L = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}0175\ \Omega\,\mathrm{mm}^2 \cdot 6{,}0\ \mathrm{m}}{\mathrm{m} \cdot 0{,}503\ \mathrm{mm}^2} = 0{,}208\ \Omega = 0{,}21\ \Omega$$

ESIMERKKI

Alumiinijohdon resistanssi +20 °C:n lämpötilassa on 0,50 Ω. Mikä on johdon resistanssi, kun lämpötila on –20 °C?

Vastaus: $\Delta t = +20\ ^\circ\mathrm{C} - (-)20\ ^\circ\mathrm{C} = 40\ ^\circ\mathrm{C}$

$$\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta t = 0{,}50\ \Omega \cdot 0{,}0037 \frac{1}{^\circ\mathrm{C}} \cdot 40\ ^\circ\mathrm{C} = 0{,}074\ \Omega$$

$R = 0{,}50\ \Omega - \Delta R = 0{,}50\ \Omega - 0{,}074\ \Omega = 0{,}426\ \Omega$

TEHTÄVIÄ

1. Alumiinijohtimen pituus on 4,0 m, poikkipinta-ala 3 mm². Mikä on johtimen resistanssi?

Alumiinin resistiivisyys on 0,029 $\frac{\Omega\,\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$.

2. Kuinka paljon johtimen resistanssi muuttuu, jos johtimen

a) pituus kaksinkertaistuu _____

b) poikkipinta-ala kasvaa kaksinkertaiseksi _____

c) pituus pienenee puoleen _____

d) poikkipinta-ala pienenee puoleen? _____

3 Sähköliedessä on 5 m pitkä syöttöjohto. Kuinka suuri jännite vaikuttaa lieden levyyn, kun virta on 16,0 A ja jännite on 230 V. Johdin on 2,5 mm^2:n kuparia. Lieden syöttöjohtoon kuuluu kaksi johdinta.

Johdon lämpeneminen

Johdon kuormitettavuus tarkoittaa sitä, että se virta, joka johdossa kulkee, ei lämmitä kaapelia enempää kuin on sallittu. Aluksi johdin lämpenee nopeasti ja lämpeneminen hidastuu loppua kohden. Johtimessa muodostuva lämpö siirtyy ympäristöön. Mitä korkeammaksi johtimen lämpö nousee, sitä enemmän siirtyy lämpöä ympäristöön.

Johtoa lämmittävä teho $P = I^2 \cdot R_j$, jossa

P = kuorman teho

I = johtimessa kulkeva virta

R_j = johtimen resistanssi

Asennusolot vaikuttavat siihen, kuinka paljon lämmittävää energiaa siirtyy pois johdosta. Lämmön siirtymiseen johdosta pois vaikuttavat ympäristön lämpötila, asennuspaikan materiaali, johdon asennustapa (uppoasennus, pinta-asennus) ja kaikki lähellä olevat lämmönlähteet.

4 Yksivaiheinen vaihtosähkötekniikka

Tässä luvussa

- **opiskellaan vaihtosähkön teoriaa ja laskuja**
- **tutustutaan siihen, miten vaihtosähköä saadaan aikaan**
- **opitaan, miten eri komponentit vaikuttavat vaihtosähköpiirissä**
- **opitaan mittaamaan vaihtosähköä.**

Sähkö on nykyihmiselle jokapäiväisessä elämässä selviö. Sähköä tarvitaan niin moneen asiaan, ettei nykyihminen enää tule toimeen ilman sähköä.

Erilaiset sähkölaitteet tarvitsevat vaihtosähköä. Ne toimivat, kun niiden pistoke pannaan pistorasiaan. Vaihtosähköä käytetään joka puolella maailmaa, koska sen tuottaminen ja siirtäminen on halvempaa kuin tasasähkön. Tarvittavat kytkimet on myös halvempaa valmistaa vaihtosähkölle. Suurin syy kuitenkin on se, että vaihtosähköä voidaan siirtää suurjännitelinjoja pitkin suurella jännitteellä ja pienellä virralla, jolloin energiahäviöt ovat pieniä. Tasasähköä voidaan myös siirtää, mutta sen siirrossa häviää paljon energiaa. Käytännön sovelluksissa tasasähkön käyttö on harvinaista.

Suurjännitelinjoja pitkin siirretään sähköä maailman joka puolella.

Vaihtosähkön tuottaminen

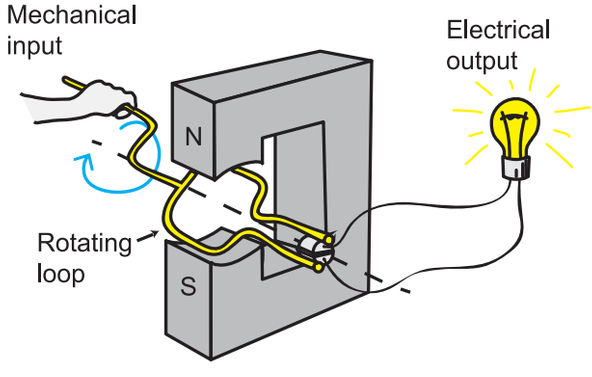
Vaihtosähkö on yhteinen nimitys vaihtovirralle ja vaihtojännitteelle. Vaihtosähköä tuotetaan voimalaitoksissa ja se siirretään suurella jännitteellä, joka myöhemmin muunnetaan pienemmäksi lähempänä käyttäjää. Vaihtosähkön perusominaisuus on, että se muuttaa suuntaansa ja suuruuttaan. Tämän pohjalta voidaan rakentaa kolmivaihejärjestelmä. Kolmivaihejärjestelmässä on kolme vaihejohdinta, joissa jännite muuttaa suuntaansa ja suuruuttaan kaikissa eri aikaan.

Elektronien liike saa aikaan sähkövirran. Tasasähköpiirissä elektronit liikkuvat jatkuvana virtana ympäri sähköpiirin. Vaihtosähköä tuotettaessa ne taas eivät oikeastaan liiku virran mukana. Sen sijaan ne kulkevat edestakaisin niin, että ne liikkuvat yhteen suuntaan 1/50 sekunnin ajan ja sen jälkeen vaihtavat toiseen suuntaan, jonne ne taas liikkuvat 1/50 sekunnin ajan. Näin kulkemalla ne eivät oikeastaan pääse mihinkään mutta niiden liike kuitenkin tuottaa sähkövirtaa.

Newtonin kehdon avulla voidaan havainnollistaa elektronien liikettä vaihtosähköpiirissä. Kehdon pallot liikkuvat yhtä paljon molempiin suuntiin edestakaisin tietyn ajanjakson verran, aivan kuin elektronit liikkuvat vaihtosähkön tapauksessa. Elektronien liikkeen suuruus on riippuvainen piirin taajuudesta, mutta Suomessa taajuus on sähköverkossa 50 Hz.

▲ Newtonin kehto

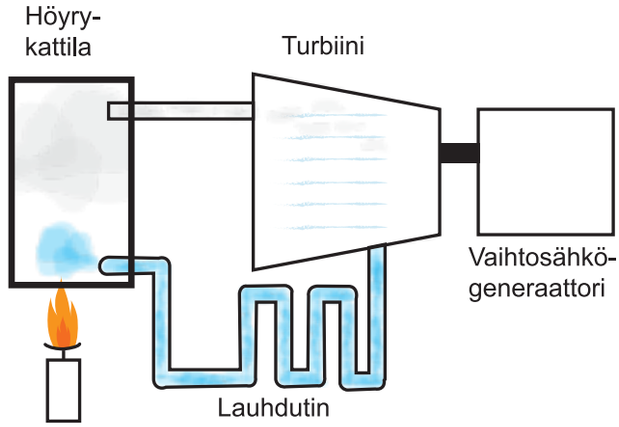
Vaihtojännitettä saadaan aikaan vaihtojännitegeneraattorilla. Vaihtojännitegeneraattori koostuu kelasta ja kestomagneetista.



mechanical	mekaaninen
input	tulo
electrical	sähköinen
output	lähtö
rotating	pyörivä
loop	silmukka

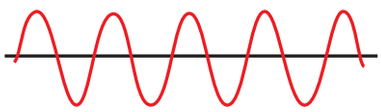
Kuvan generaattori muuntaa liike-energiaa sähköenergiaksi. Samalla tavoin voimalaitoksen isompi ja teknisesti monimutkaisempi generaattori muuntaa liike-energian sähköksi. Höyryvoimalaitoksen kattilassa tuotetaan tulis-

tettua höyryä, joka johdetaan turbiiniin, joka taas tuottaa lämpöenergiasta liike-energiaa. Generaattori taas muuntaa liike-energian vaihtosähköksi. Voimalaitosgeneraattori saadaan kierroslukua säätämällä tuottamaan tarkalleen tietyn taajuista (Suomessa 50 Hz) vaihtosähköä.

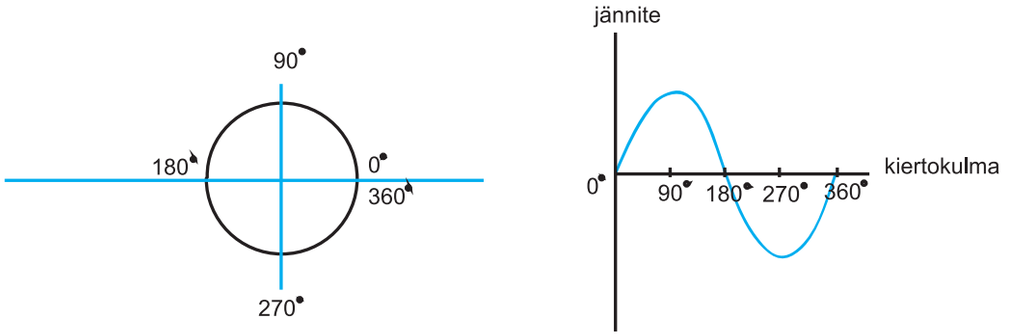


Vaihtosähkön käsitteitä

Vaihtosähkö on jaksollisesti vaihtuvaa ja sen yleisin muoto on siniaalto. Tällaista aaltomuotoa saadaan, jos mitataan pistorasiasta tuleva vaihtosähkö oskilloskoopilla.

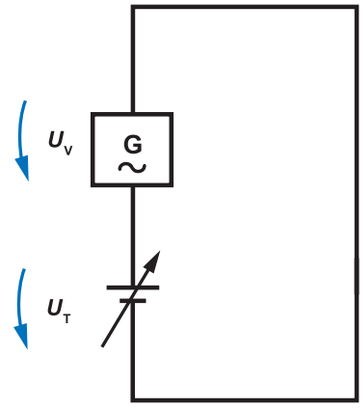


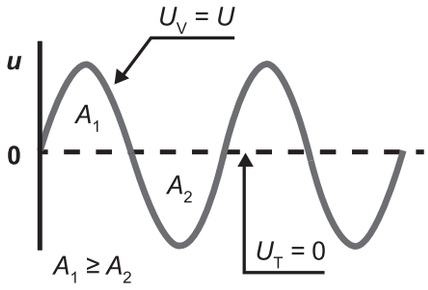
Vaihtovirta ja vaihtojännite muuttavat jatkuvasti suuntaansa ja suuruuttaan. Euroopassa vaihtosähkön taajuus on 50 Hz eli jännite ja virta muuttavat suuntaansa ja suuruuttaan 50 kertaa sekunnissa. Sinikäyrän yhtä jaksoa voidaan verrata ympyrään, jolloin sille asetetaan myös ympyrän asteluvut.



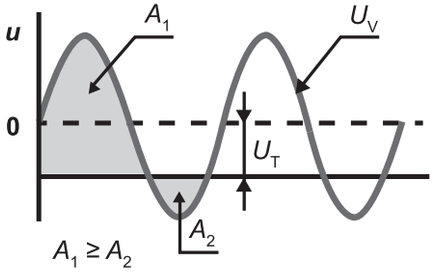
Tasajännitteestä ja vaihtojännitteestä voidaan käyttötarpeen mukaan muodostaa neljä erilaista jännitettä: puhdas vaihtojännite, sekajännite, sykkivä tasajännite ja tasajännite.

Tasajännitteen avulla vaihtojännite voidaan nostaa nollatason yläpuolelle, jolloin esimerkiksi heikko mikrofonin tuottama audiosignaali saadaan erotetuksi häiriöherkästä nollatasosta vaikkapa 10 voltin tasolle. Kuvassa oikealla esitetään mittausjärjestely.

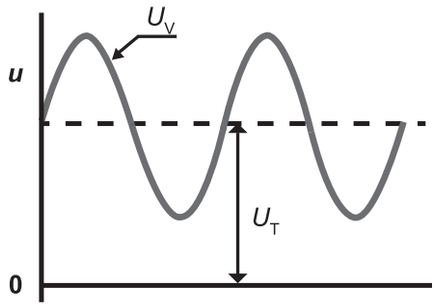




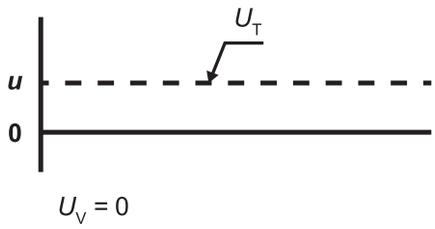
a) Puhdas vaihtojännite
Positiivinen ja negatiivinen puolijakso ovat yhtä suuret itseisarvoltaan, jolloin alat A_1 ja A_2 ovat samankokoiset 0-tason kummalakin puolella.
Tasajännite $U_T = 0$ V.
Jännite U_v käy 0-tason negatiivisella puolella.



b) Sekajännite
Vaihtosähkön nollakohta on tasajännitteen U_T kohdalla.
$A_1 > A_2$. Jännite U_v käy 0-tason negatiivisella puolella

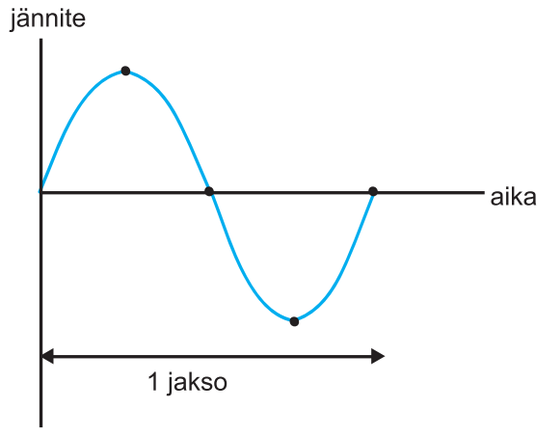


c) Sykkivä tasajännite
Jännite U_T on niin suuri, ettei vaihtojännite käy nollatason alapuolella. Jännite U_v ei käy 0-tason alapuolella



d) Puhdas tasajännite
Vaihtosähkö $U_v = 0$. Jännite on tasajännitteen U_T suuruinen.

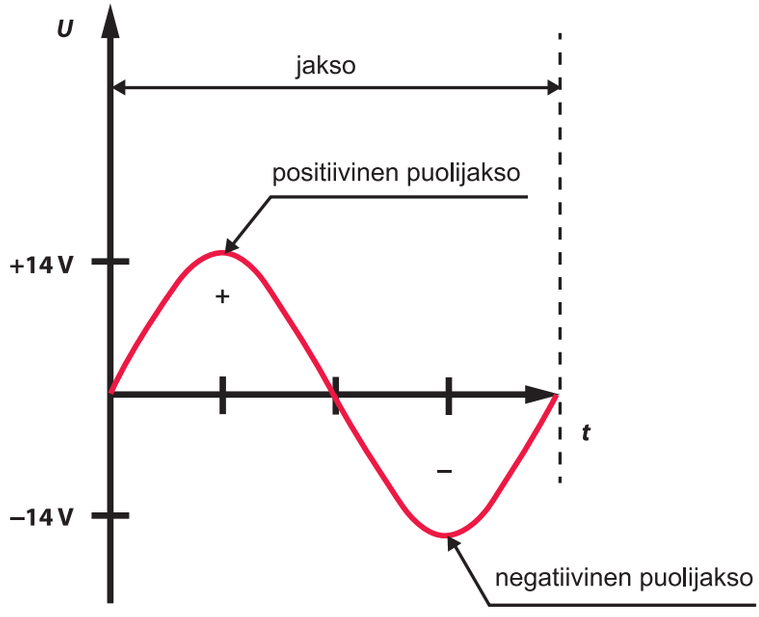
Jakso on se matka, jolla sinikäyrä on kerran positiivisella ja kerran negatiivisella puolella käytyään kulkenut täyden ympyrän.



Jakson aika kertoo, kuinka kauan yksi jakso kestää. Jakson aika ilmaistaan yleensä millisekunteina (ms).

$$\text{Jakson aika} = \frac{1}{taajuus} \text{ eli } T = \frac{1}{f}$$

Vaihtosähkön taajuus Euroopassa on 50 Hz, mikä tarkoittaa, että jännite ja virta muuttavat suuntaansa ja suuruuttaan 50 kertaa sekunnissa. Käyrä tekee positiivisen puolijakson ja negatiivisen puolijakson, eli siniaalto tekee 50 jaksoa sekunnissa.



Taajuus on jaksojen määrä sekunnin aikana. Taajuuden suuretunnus on *f* ja yksikkö hertsi.
1 Hz = 1 jakso/sekunti eli

$$[f] = 1\,\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}} = \text{s}^{-1}$$

Taajuus lasketaan seuraavasti:

$$\text{Taajuus} = \frac{1}{\textit{jakson aika}} \quad \text{eli} \quad f = \frac{1}{T}$$

Huippuarvo eli amplitudi on vaihtosähkökäyrän suurin arvo positiivisella ja negatiivisella jaksolla. Huippuarvon suuretunnus on û, kun kyseessä on jännite, ja î, kun kyseessä on virta. Huippuarvo kuvaa jännitteen vaihteluväliä, koska jännite ei ole vakio vaan vaihtelee positiivisen ja negatiivisen huipun välillä.

Huipusta huippuun -arvo eli kokonaisvaihtelujen arvo kertoo, kuinka suuri on positiivisen ja negatiivisen huippuarvojen erotus.

Hetkellisarvo on tietyllä ajan hetkellä mitattu arvo *u*.

Kiertokulma on sinikäyrän jakson aikana tekemä ”ympyrä” astelukuna. Kokonainen ympyrä on 360o, ja tämän saman matkan tekee myös sinikäyrän yksi jakso. Sinikäyrän jaksoa voidaan siten verrata ympyrään.

Tehollisarvolla ilmoitetaan vaihtovirran ja -jännitteen suuruus. True Root Mean Square- eli True RMS -mittarit näyttävät vaihtosähkön tehollisarvon. Näin vaihtosähkön arvoja voidaan verrata vastaaviin tasasähkön arvoihin ja vaihtosähkön laskut voidaan laskea kuten tasasähkössä.

Tehollisarvo voidaan laskea, kun tiedetään jännitteen tai virran huippuarvo.

$$\text{Jännitteen tehollisarvo} = \frac{\textit{jännitteen huippuarvo}}{\sqrt{2}} \quad \text{eli} \quad U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Virran tehollisarvo} = \frac{\textit{virran huippuarvo}}{\sqrt{2}} \quad \textit{eli} \quad I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

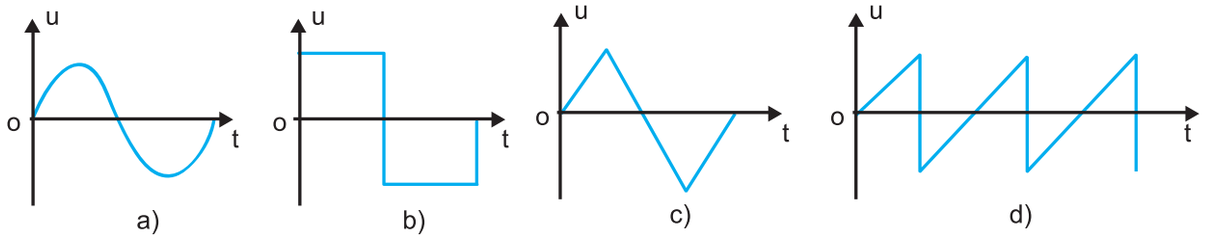
Vaihtojännitteen käsitteet:

Termi	Symboli	Yksikkö
Jaksonaika	*T*	s, sekunti
Jännitteen huippuarvo	u_h *tai* u_p	V, voltti
Jännitteen hetkellisarvo	*u*	V, voltti
Jännitteen huipusta huippuun -arvo	u_{hh} tai u_{pp}	V, voltti
Jännitteen tehollisarvo	*U*	V, voltti
Taajuus	*f*	Hz, hertsi

Vaihtovirran käsitteet:

Termi	Symboli	Yksikkö
Virran huippuarvo	i_h tai i_p	A, ampeeri
Virran hetkellisarvo	i	A, ampeeri
Virran tehollisarvo	I	A, ampeeri
Virran huipusta huippuun -arvo	i_{hh} *tai* i_{pp}	A, ampeeri

Vaihtosähkön yleisin aaltomuoto on a) siniaalto. Muut aaltomuodot ovat b) sakara-aalto (kanttiaalto), c) kolmioaalto ja d) sahahammasaalto.



ESIMERKKI

Kuinka monta jaksoa on sekunnissa, jos jakson aika on 20 ms? 1 s = 1000 ms.

Vastaus: 1000 ms / 20 ms = 50.

Sekunnissa on tässä tapauksessa 50 jaksoa eli vaihtosähkön taajuus on 50 Hz.

ESIMERKKI

huippuarvo: 10 V

huipusta huippuun -arvo: 20 V

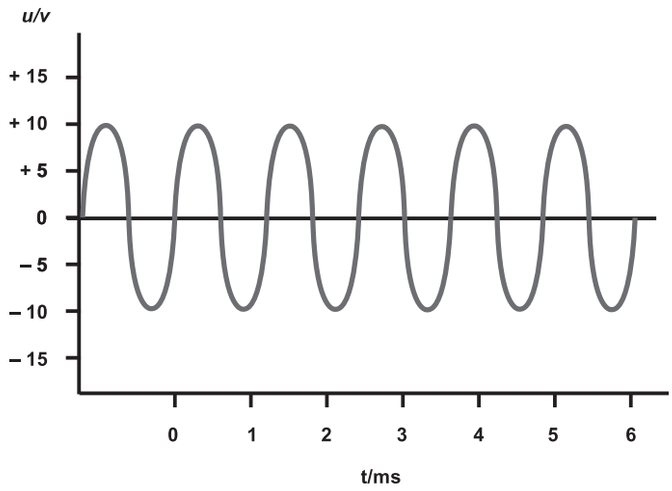
jakson aika: 1 ms

taajuus:

$$\frac{1}{0{,}001\,\text{s}} = 1000\ \text{Hz}$$

Taajuutta laskettaessa muutetaan ensin millisekunnit sekunneiksi:

1 ms = 0,001 s

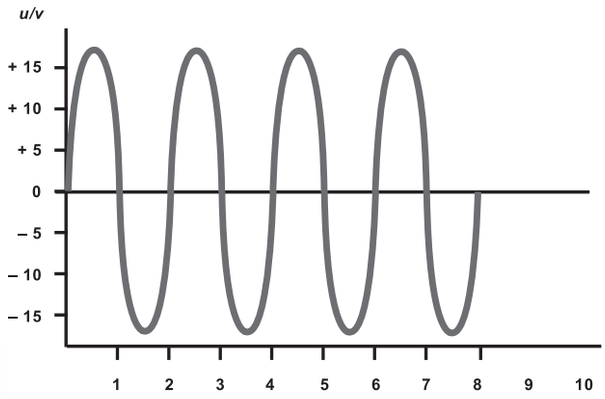


TEHTÄVIÄ

1 Laske puuttuvat taajuudet ja jakson ajat.

Taajuus f	Jakson aika T	Laskut
20 Hz		
	20 ms	
	3 ms	
3 kHz		
20 MHz		
	12 µs	
	15 s	
5000 Hz		
	200 ms	
40 kHz		
	500 µs	

2 Lue kuvassa olevalta käyrältä kysytyt arvot.



a) huippuarvo: _____

b) huipusta huippuun -arvo: _____

c) jakson aika: _____

d) taajuus: _____

e) tehollisarvo: _____

3 Olet mittaamassa vaihtosähköpiiriä. Mittari näyttää lukemaa 29 V. Mikä on jännitteen tehollisarvo ja huippuarvo?

_____

4 Teet ruokaa lieden levyllä, jonka teho on 1500 W. Liesi on kytketty 230 V:n jännitteeseen. Mikä on piirin läpi kulkevan virran tehollisarvo?

_____

▲ Pihtivirtamittari on TRMS-mittari (TRMS = True Root Mean Square).

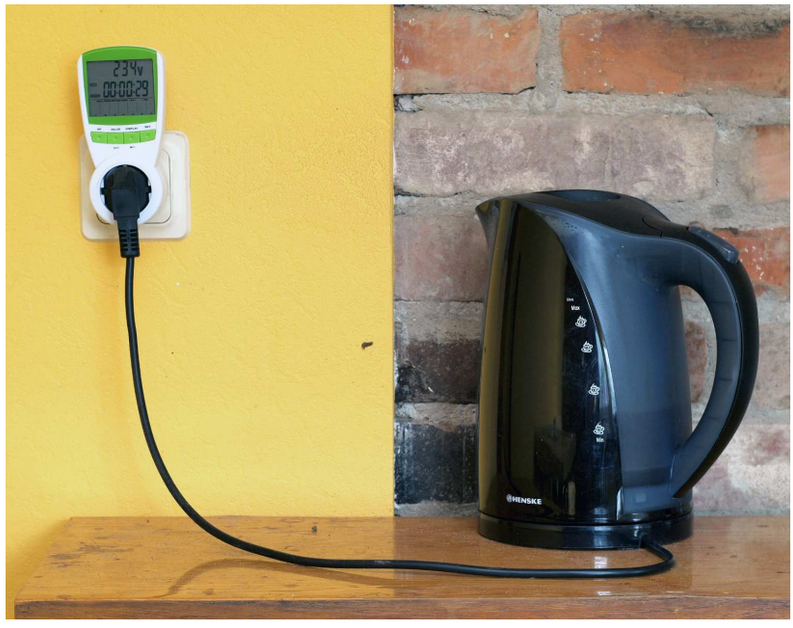
Vaihtosähkön mittaaminen

Kun virta mitataan yleismittarilla, mittari pitää kytkeä osaksi virtapiiriä. Pihtivirtamittarilla taas voidaan virta mitata ilman, että virtapiiriä pitää purkaa, laittamalla mittari virrallisen johtimen ympärille. Virrallisen johtimen ympärillä on aina magneettikenttä, ja pihtivirtamittari suorittaa mittauksen sähkövirran johtimen ympärillä olevan magneettikentän avulla.

Jos mittaat pihtivirtamittarilla kaapelia, jossa on useampia johtimia ja se sisältää myös nollajohtimen, pihtivirtamittari näyttää arvoa 0, koska vaihejohtimien ja nollajohtimen magneettikentät ovat vastakkaissuuntaiset. Siksi pihtivirtamittarilla mitataan vain yksittäistä johdinta.

Yksivaiheiset virrat voidaan turvallisesti mitata suoraan pistorasiasta energiankulutusmittarilla, jossa näkyy myös virran suuruus. Kolmivaiheisten laitevirtojen mittaaminen käy erillisellä mittausadapterilla nopeasti ilman, että tarvitsee avata mitään kansia tai koteloita. Adapteri asennetaan pistorasian ja pistotulpan väliin.

alternating current (AC)	vaihtovirta
electron	elektroni
frequency	taajuus
cycle	jakso
wave cycle	jakson aika
amplitude, peak value	huippuarvo
root-mean-square value	tehollisarvo
peak to peak valu	huipusta huippuun -arvo
angle of rotation	kiertokulma



▲ Energiankulutusmittari

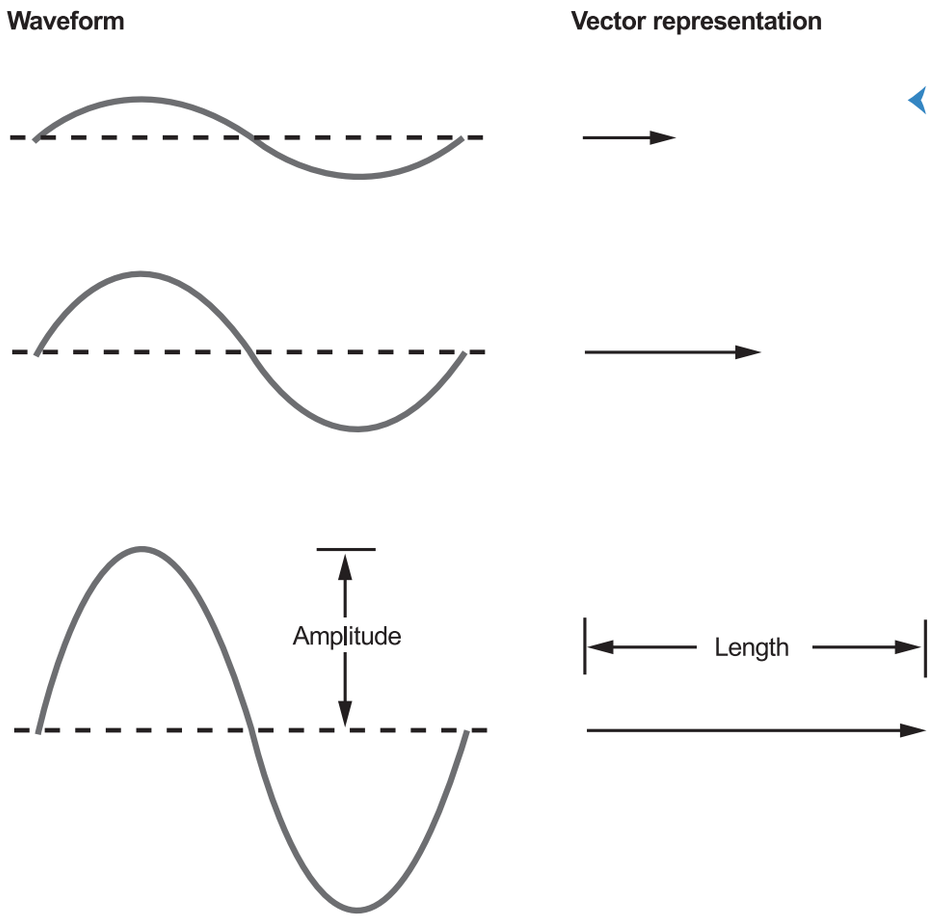
TEHTÄVIÄ

1. Selvitä, minkälaisia pihtivirtamittareita on saatavilla.

2. Voiko yhdellä mittarilla mitata sekä tasavirtaa että vaihtovirtaa? Perustele.

Osoittimet

Sinijännitteiden piirtäminen ja eri vaiheessa olevien suureiden vertailu on vaikeaa. Sinijännitteet voidaan siten esittää osoittimina. Osoitin on kaksiulotteinen muuttuja, jossa on pystysuuntainen ja vaakasuuntainen osa. Yksi esimerkki osoittimesta ovat kellon viisarit.



Mitä suurempi on siniaallon amplitudi, sitä pidempi on osoitin.

waveform	aaltomuoto
vector	vektori
representation	esitys
lenght	pituus
amplitude	amplitudi, huippuarvo

Seuraavassa kuvassa näkyy sinijännitteen vastaavuus osoittimien välillä. Osoittimen suunta näyttää vaihtosuureen kiertokulman ϕ. Osoittimen pituus on verrannollinen vaihtosuureen huippuarvoon û.

Osoittimen avulla ilmaistaan sinijännitteen hetkellisarvon suuruus ja vaihekulma. Vaihekulma voidaan laskea myös seuraavan kaava avulla:

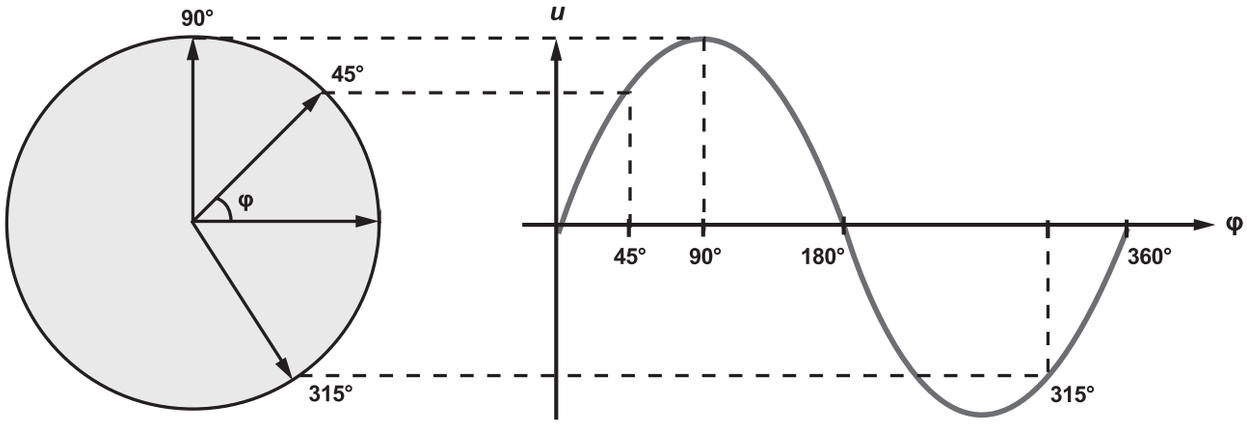
$$\phi = 2\pi ft$$

jossa

ϕ = vaihekulma

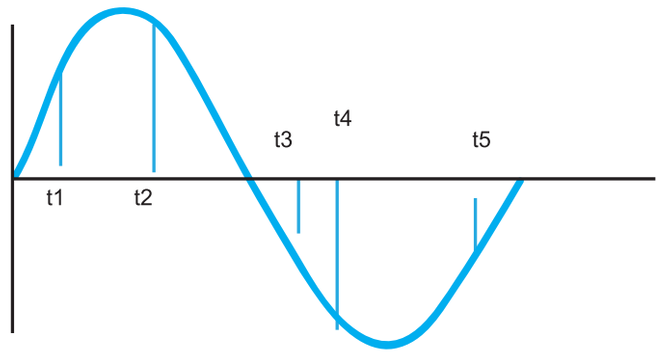
f = taajuus

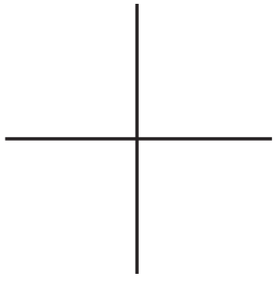
t = hetkellisarvo



TEHTÄVIÄ

1 Kuvassa esitetään sinijännitteen muoto. Piirrä akselistoon jännitettä kuvaavat osoittimet ajanhetkinä t1–t5.





Vaihtosähköpiirin kuormat

Vaihe-ero eli vaihesiirto

Vaihtosähköpiirin kuormat määrittävät vaihe-eron. Kuormalla tarkoitetaan vaihtosähköpiirissä energian muuttumista hyödylliseksi lämpö- tai liike-energiaksi. Resistiivinen kuorma on kotitaloudessa hyvin tavallinen ja jokapäiväinen. Kapasitiivista kuormaa ei sen sijaan juuri esiinny kotitalouksissa mutta induktiivista kuormaa taas jonkin verran. Induktiivinen kuorma on kuitenkin tavallisempi teollisuudessa, jossa on paljon moottoreita. Kapasitiivista kuormaa esiintyy lisäksi jonkin verran voimalinjojen kaapeleissa pitkillä matkoilla. Jännitteen ja virran välinen kulma aiheutuu nimenomaan piirissä olevasta kuormasta.

Vaihtosähköpiirin kuorma on vastuksen, kelan tai kondensaattorin aiheuttamaa.

Resistiivinen kuorma kuluttaa energiaa ja muuttaa sitä lämmöksi.
Induktiivisessa kuormassa energia muuttuu magneettiseksi energiaksi.
Kapasitiivisessa kuormassa sähköenergia pysyy sähköenergiana.
Kaikki nämä kuormat aiheuttavat vastusta piiriin.

Ylikuorma aiheuttaa liian suurta lämpötilaa ja liian suuria nopeuksia tai voimia.
Kaikki nämä aiheuttavat laitteen rikkoutumisen.

Vaihtosähköpiirissä erilaiset kuormat aiheuttavat ajallista virran ja jännitteen siirtymää. Näiden välille tulee vaihe-eroa. Vaihe-erolla tarkoitetaan sitä, etteivät virran ja jännitteen hetkellisarvot tapahdu samanaikaisesti. Kiinnostuksen kohteena on yleensä virran ja jännitteen välinen vaihe-ero mutta kolmivaihetekniikassa myös jännitteiden välinen ero ja virtojen välinen ero. Tässä jaksossa perehdytään yksivaihetekniikan virran ja jännitteen väliseen vaihe-eroon. Vaihe-ero ilmoitetaan asteina 0–300°. Vaihe-eroa aiheuttavia kuormia sanotaan reaktiivisiksi kuormiksi.

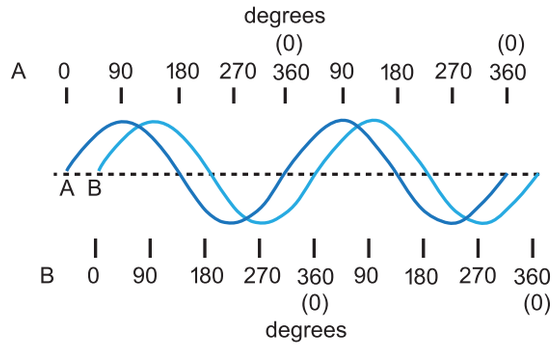
Kotitalouksissa useimmat kuormat ovat resistiivisiä. Poikkeuksena ovat loistelamput ja moottorit, jotka ovat induktiivisia.

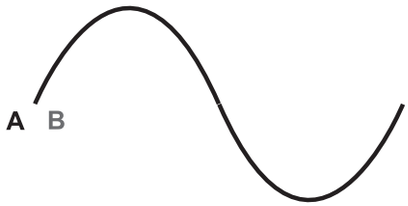
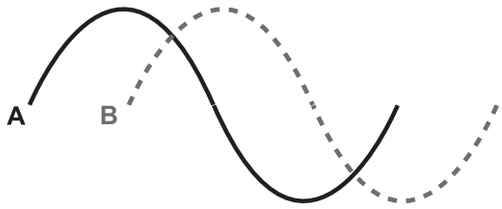
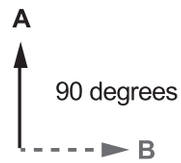
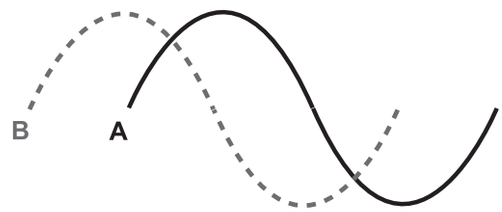
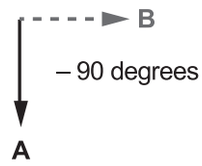
Kuorma määrää, ovatko jännite ja virta samassa vaiheessa.

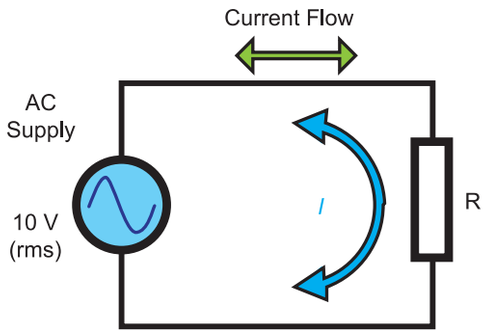
phase difference, phase shift vaihe-ero

Puhtaasti resistiivisellä kuormalla ei ole vaihe-eroa, eli siinä jännite ja virta ovat huipussaan yhtä aikaa. Tällöin vaihe-ero on 0°. Kun kuorma taas on kapasitiivinen tai induktiivinen, virta ja jännite eivät ole huipussaan yhtä aikaa. Niiden välillä on vaihe-ero. Kuvassa sinikäyrien A ja B välillä on vaihe-eroa 45°.

degree	asteluku
ahead	edellä
lead	johtaa
waveform	aaltomuoto
mirror-image	peilikuva



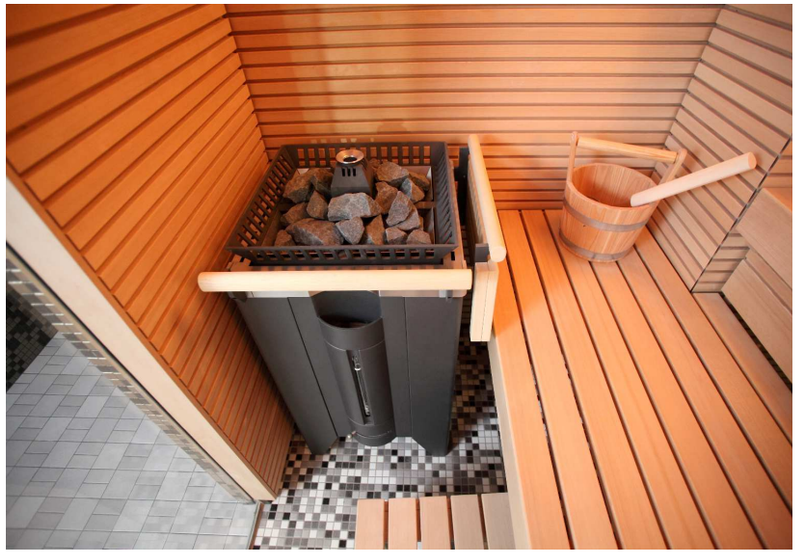
Waveforms	Phase relations	Vector representations
		(of "A" waveform with reference to "B" waveform)
	Phase shift = 0 degrees A and B waveforms are in perfect step with each other	
	Phase shift = 90 degrees A is ahead of B (A "leads" B)	
	Phase shift = 90 degrees B is ahead of A (B "leads" A)	



▲ Vaihtosähköpiiri, jossa on resistiivinen kuorma

Vastus vaihtosähköpiirissä eli resistiivinen kuorma

Kaikissa kodeissa on yleensä liesi ja usein myös sähkökiuas. Molemmat niistä tarvitsevat vaihtosähköä toimiakseen, ja molemmissa on vastuksia. Näissä laitteissa vastuksen teho muuttuu lämmöksi eli kuorma on resistiivistä.



Sähkökiuas

Ohmin laki: $U = R \cdot I$

Ohmin laki vaihtosähköpiirissä: $U = I \cdot Z$
jossa Z on vaihtosähköpiirin kokonaisresistanssi nimeltään impedanssi.

Tehoyhtälö: $P = U \cdot I$

Kirchhoffin 1. laki eli virtalaki:
Virtapiirin solmukohtaan tulevien virtojen summa on sama kuin lähtevien virtojen summa.

Kirchhoffin 2. laki eli jännitelaki:
Sarjapiirin jännitehäviöiden summa on yhtä suuri kuin piirin vaikuttava jännite.

Tasasähköpiirissä virta kulkee koko ajan plus-kohtiosta miinus-kohtioon. Vaihtosähköpiireissä virran suunta taas muuttuu taajuuden mukaan. Vastukset ovat passiivisia komponentteja, jotka eivät tuota energiaa. Sen sijaan ne muuttavat energian lämmöksi.

current flow sähkövirta
supply jännitelähde

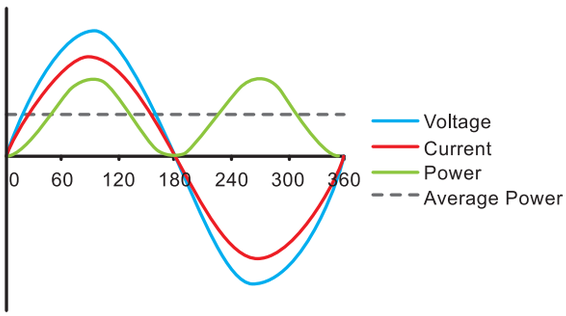
Jännitteen ja virran suhdetta tasasähköpiirissä kutsutaan resistanssiksi. Mutta vaihtosähköpiirissä jännitteen ja virran suhde riippuu vaihtovirtageneraattorin taajuudesta ja vaihe-erosta. Kun vaihtosähköpiirissä käytetään vastusta, vastusarvoa kutsutaan impedanssiksi. Kaikki vaihtovirtapiirille vastusta aiheuttavaa komponenttia otetaan huomioon laskettaessa piirin impedanssia.

Pätötehoa kuluu, kun yleiset kotitaloudessa olevat resistiivistä kuormaa kuluttavat laitteet ovat käynnissä. Tällöin virta ja jännite kulkevat samassa tahdissa eli ne ovat samassa vaiheessa. Pätöteho on tehoa, jota todellisuudessa kulutetaan, eli se on ainoa työtä tekevä teho (lieden tai kiukaan vastuksissa lämmöksi muuttuva teho), jota mitataan watteina.

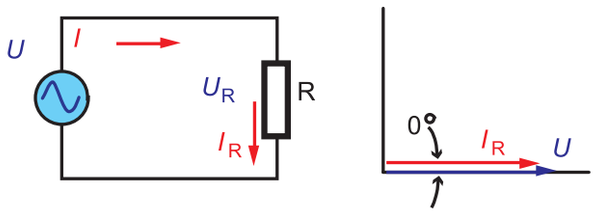
Pätötehon yksikkö on watti (W) ja suuretunnus *P*.
Pätöteho voidaan laskea tutulla kaavalla:

$$P = U_R \cdot I_R$$

Vaihtosähkötekniikassa käytetään merkintätapaa, jossa on alaindeksit. Yllä oleva kaava kertoo, että nämä laskut koskevat nimenomaan resistiivisen kuorman jännitettä ja virtaa. Tasasähkötekniikassa opittu tehoyhtälö pätee myös vaihtosähkötekniikassa. Myös Ohmin laki ja Kirchhoffin lait pätevät vaihtosähkötekniikassa. Resistiivisiä kuormia laskettaessa niitä käsitellään kuten tasasähkötekniikassa on opittu.



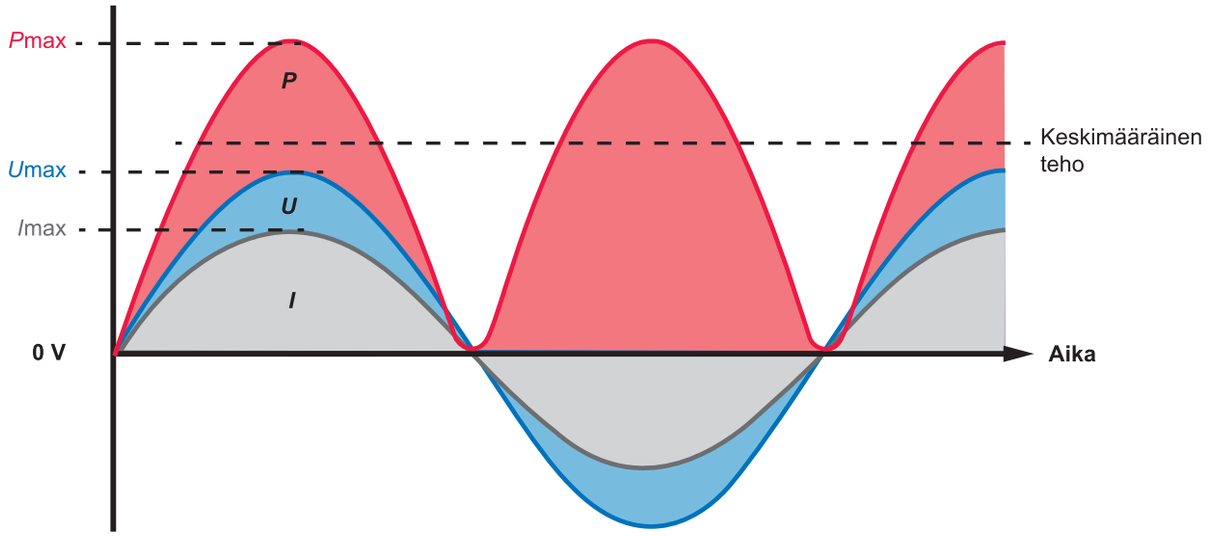
▲ Puhtaasti resistiivisen piirin jännite ja virta ovat samassa vaiheessa.



▲ Puhtaasti resistiivinen piiri ja sen osoitinpiirros

Puhtaasti resistiivisessä piirissä jännite ja virta ovat samassa vaiheessa ja teho on positiivista. Jännitteen ja virran välillä ei ole vaihe-eroa, kuten osoitinkuvassa näkyy.

Tehon käyrä noudattaa sinimuotoa, mutta sen taajuus on kaksinkertainen jännitteen taajuuteen verrattuna. Yhden jakson aikana on kaksi tehohuippua, jotka molemmat sijoittuvat positiiviselle puolelle. Tehon käyrä on nollatason yläpuolella, koska negatiivinen jännite tuottaa yhtä paljon lämpöä kuin positiivinenkin jännite. Kaikki resistiivisen kuorman teho on pätötehoa.



▲ Puhtaasti resistiivisen kuorman teho

ESIMERKKI

Lämmittimessä on merkinnät $U = 230$ V ja $P = 1200$ W. Kuinka suuri virta lämmittimessä kulkee?

Vastaus: Lasketaan kaavasta $P = U_R \cdot I_R$ ratkaisemalla virta: $I_R = \frac{P}{U_R}$.

Tästä saadaan $I_R = \frac{1200\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 5{,}2\ \text{A}$.

Virta on siis 5,2 A.

ESIMERKKI

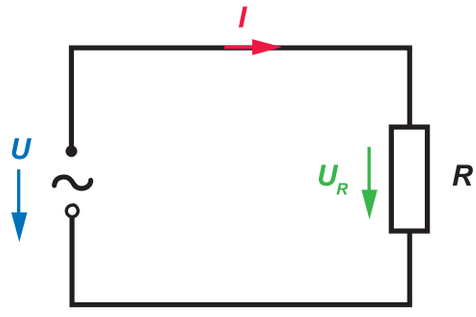
Laske oheisen kytkennän virta I.

Ohmin lain mukaan $U = R \cdot I$,

josta voidaan ratkaista $I = \frac{U}{R}$

Näin saadaan $I = \frac{15\ \text{V}}{15\ \Omega} = 1\ \text{A}$.

Virta on siis 1 A.



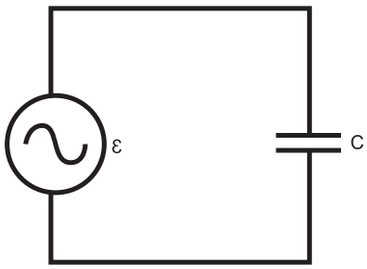
$U = 15$ V $R = 15\ \Omega$

TEHTÄVIÄ

1. 1000 W:n lämpöpatteri on kytketty 230 V:n jännitteeseen. Laske lämpöpatterin vaihtovirtavastus.

2. Mikä on sähkölaitteen teho, kun se on kytketty 230 V:n jännitteeseen ja vaihtovirtavastus on 100 Ω?

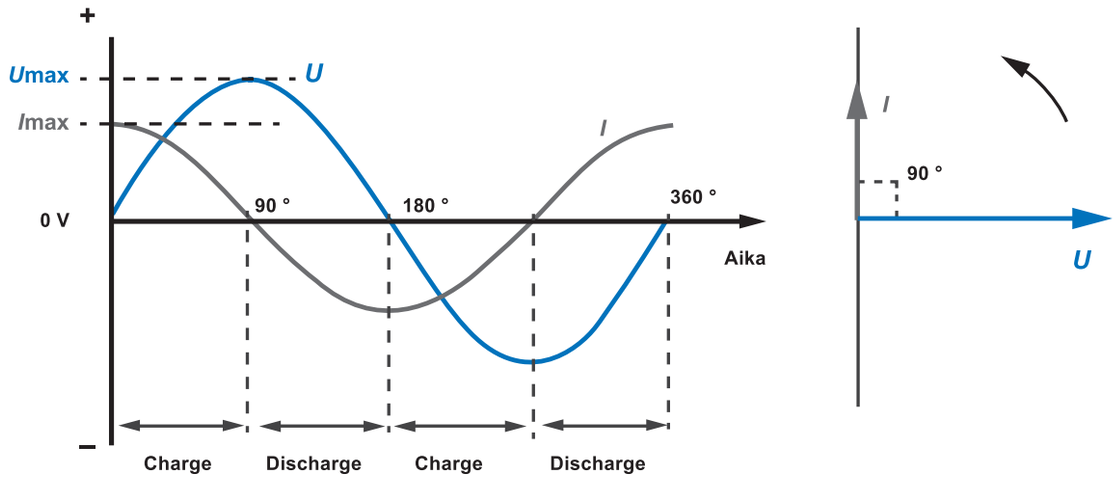
Kondensaattori vaihtosähköpiirissä eli kapasitiivinen kuorma



▲ Puhtaasti kapasitiivinen piiri

Suurimman kapasitiivisen kuorman sähköverkossa muodostavat kaapelit. Kondensaattoria käytetään loistehon kompensointiin. Energiasäästölamppujen käytön lisääntymisen myötä nykyään myös kotitalouksissa tarvitaan loistehon kompensointia. Kondensaattori ei käyttäydy samalla tavoin kuin vastus. Kun vastus päästää elektronivirran kulkemaan lävitseen vapaasti, kondensaattorissa taas elektronit eivät välillä kulje piirissä ollenkaan.

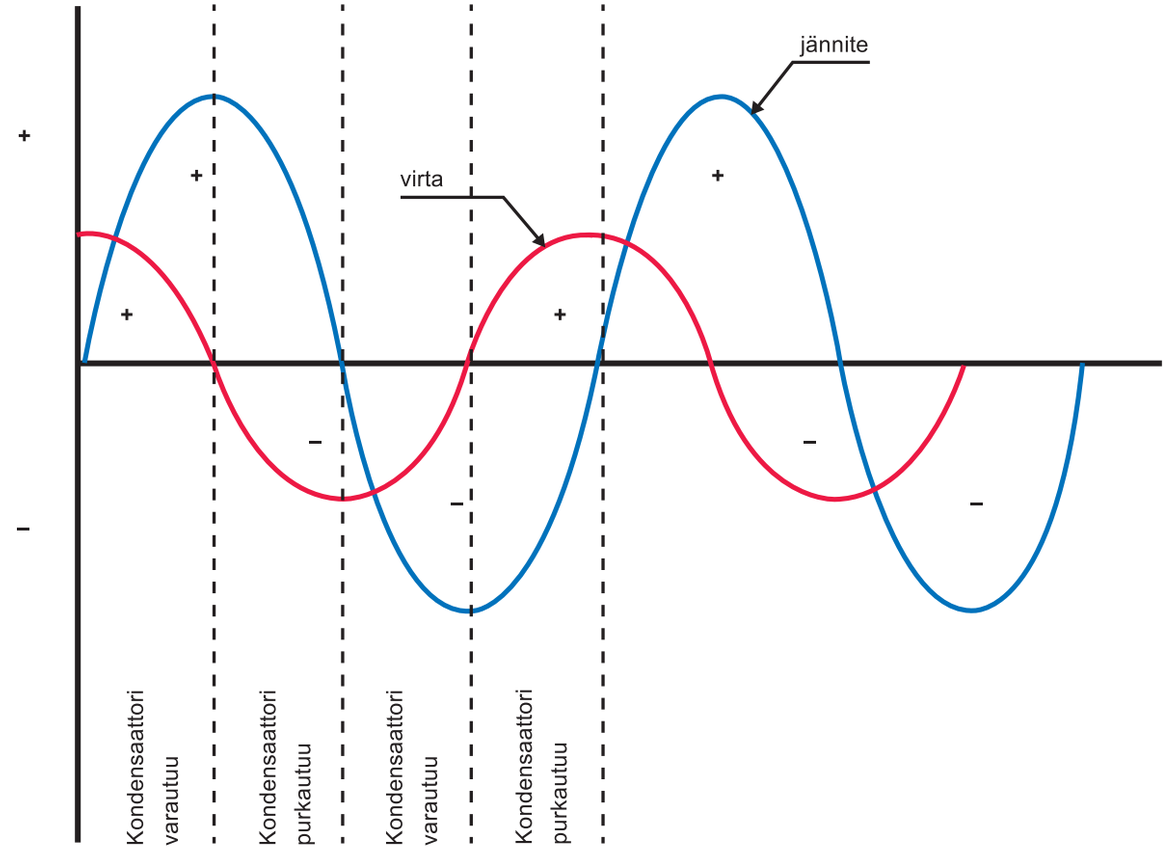
Kuvassa on yksinkertainen piiri, jossa on kondensaattori. Tällöin piiri on puhtaasti **kapasitiivinen**.



▲ Kapasitiivisella kuormalla virta on 90° jännitettä edellä.

Kondensaattori varautuu ja purkautuu sähköpiirissä, eikä se lämpene virran vaikutuksesta. Kondensaattorin vaikutus vaihtosähköpiirissä esitetään kuvassa. Kun konden-

saattorin jännite on huipussaan (kondensaattori on täysin varautunut), piirissä ei kulje virtaa. Kun taas virta on huipussaan, piirin jännite on 0. Kun jännite suurenee, kondensaattori varautuu. Kondensaattorin varautuessa piirin varausvirta pienenee. Kun jännite pienenee, kondensaattori alkaa purkautua, ja kun jännite on tullut nollakohtaan, kondensaattori on täysin purkautunut. Tämä tapahtui puolijakson positiivisella puolella. Negatiivisella puolella sama tapahtuu uudelleen.



▲ Kondensaattorin vaikutus vaihtosähköpiirissä

Kapasitiivinen reaktanssi on kondensaattorin aiheuttama vastus virralle. Kapasitiivisen reaktanssin suuretunnus on X_C ja yksikkö ohmi Ω

Ohmin laki kondensaattorille on $U_C = I_C \cdot X_C$.

Kun kondensaattorin kapasitanssi on suuri, myös sen varaus- ja purkausvirta on suurempi kuin kondensaattorin, jonka kapasitanssi on pieni. Kondensaattorin reaktanssi on sitä pienempi, mitä suurempi on kondensaattorin kapasitanssi. Kondensaattorin reaktanssi voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

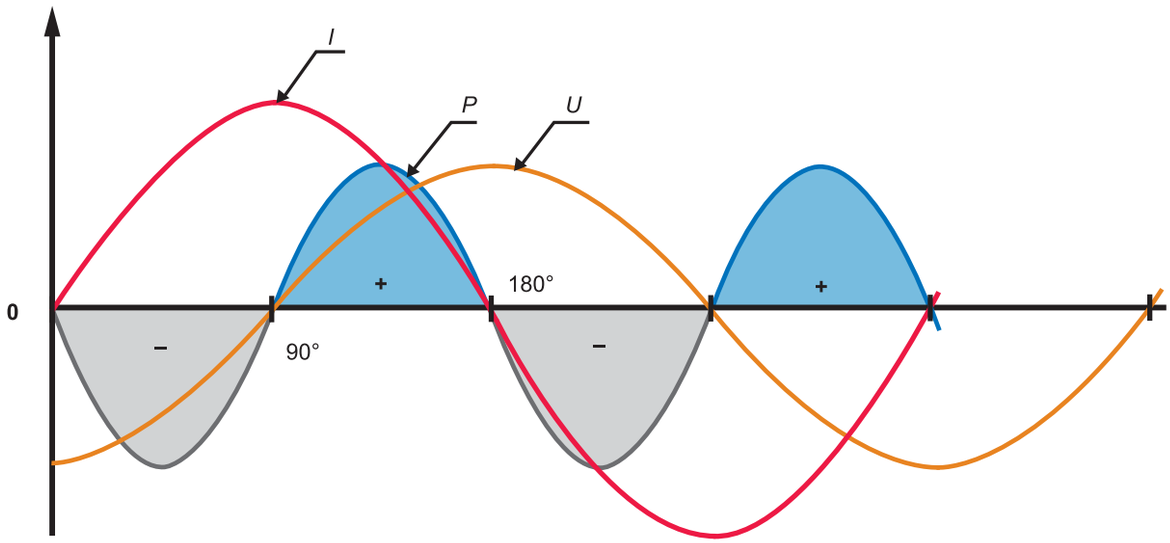
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Kaavassa f = piirin taajuus ja
C = kondensaattorin kapasitanssi.

Kapasitanssin yksikkö on F eli faradi ja taajuuden Hz eli hertsi.

Vaikka kondensaattori ei lämpene virran vaikutuksesta, sen kautta kuitenkin kulkee virta ja sen navoissa vaikuttaa jännite. Tämä työtä tekemätön, ei-lämmittävä teho on nimeltään loistehoa.

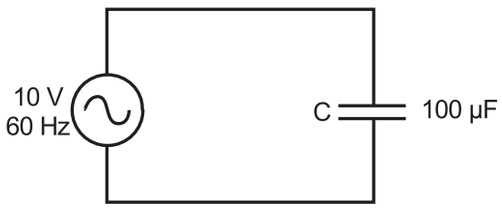
Kuvassa ovat kuvattuina kondensaattorin virta, jännite ja teho. Negatiivisen puolen teho tarkoittaa, että energia purkautuu takaisinpäin kondensaattorista kuormaan. Kun teho muuttuu positiiviseksi, myös teho tulee positiiviseksi. Tällöin energia varautuu kuormasta kondensaattoriin päin. Varautuva ja purkautuva energia ovat samansuuruisia. Tässä siis energia kulkee edestakaisin tekemättä mitään.



Kondensaattorin virta, jännite ja teho

ESIMERKKI

Lasketaan vaihtosähköpiirin virta.



Ensin tarvitaan tieto siitä, kuinka paljon kondensaattori vastustaa virran kulkua. Lasketaan kondensaattorin reaktanssi:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 0{,}0001} = 26{,}525\ \Omega$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{10\ \text{V}}{26{,}525\ \Omega} = 0{,}377\ \text{A}$$

Piirin virta on 377 mA.

TEHTÄVIÄ

1 Laske 20 µF:n kondensaattorin kapasitiivinen reaktanssi piirissä, jossa taajuus on

60 Hz _____

2 kHz _____

500 Hz _____

2 Erään kondensaattorin kapasitiivinen reaktanssi on 80 Ω piirissä, jossa taajuus on 40 Hz. Laske kondensaattorin kapasitanssi.

_____

3 Erään piirin kondensaattorin kapasitanssi on 15 µF. Piirin syöttöjännite on 200 V ja taajuus 100 Hz. Laske piirin virta.

_____

_____

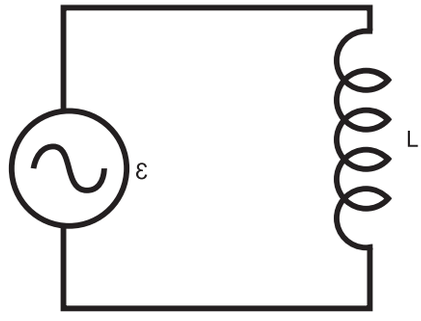
Erään piirin kondensaattorilla on 400 Ω:n reaktanssi, kun piirin jännite on 100 V ja taajuus 50 Hz. Laske kondensaattorin kapasitassi ja piirin virta.

_____

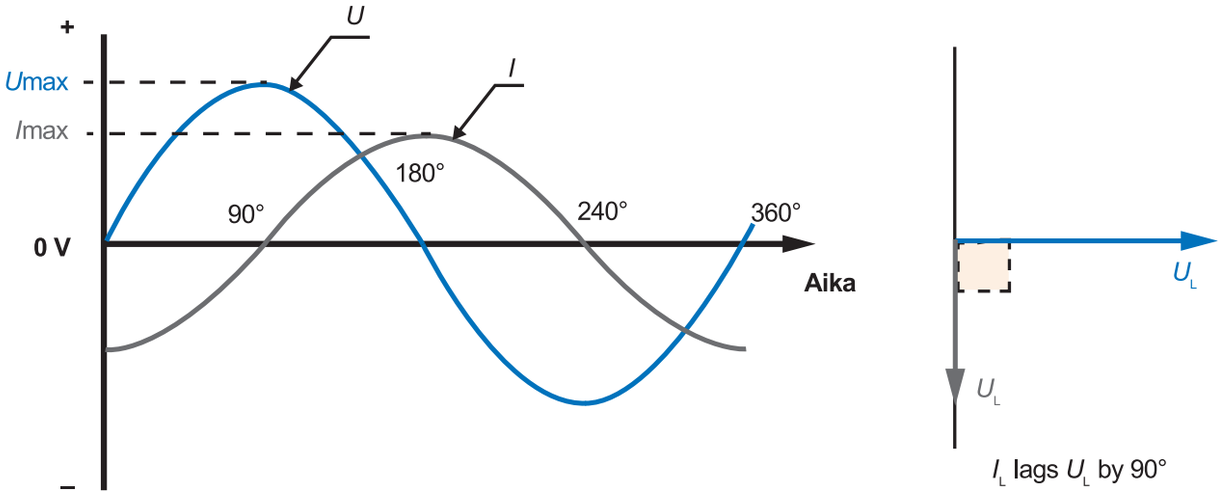
_____

Kela vaihtosähköpiirissä eli induktiivinen kuorma

Kela on kondensaattorin sähköinen vastakohta. Induktiivista kuormaa aiheuttavat esimerkiksi induktioliedet, moottorit ja loisteputket. Kun piirissä on induktiivista kuormaa, syntyy jännitteen ja virran välille vaihe-eroa. Kun jännitteen ja virran välille tulee vaihe-eroa, tuotetaan myös loistehoa. Kelaan johdettava virta aiheuttaa magneettikentän, ja kun kenttä häviää, varastoitunut energia menee takaisin sähkölaitteeseen. Kelassa ei kulu energiaa, joten pätöteho on nolla.



▲ Yksinkertainen piiri, jossa on kela



Puhtaasti induktiivisella kuormalla virta on 90° jännitettä jäljessä.

Ohmin laki kelalle on $U_L = I_L \cdot X_L$.

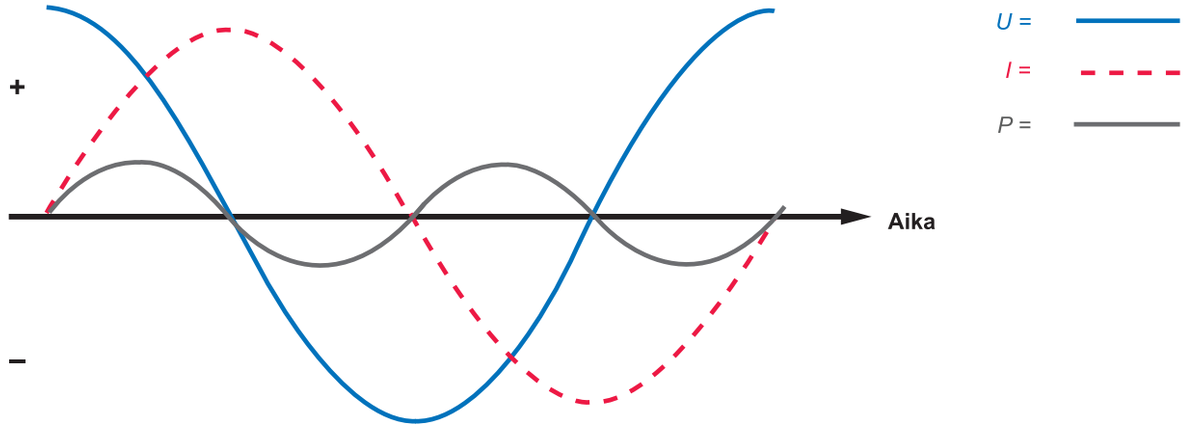
Induktiivisen reaktanssin suuretunnus on X_L ja yksikkö ohmi (Ω). Kelan reaktanssi lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$X_L = 2\pi f L$$

jossa f = piirin taajuus ja
L = kelan induktanssi.

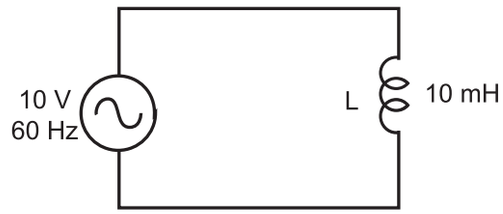
Induktanssin yksikkö on henry (H) ja suuretunnus *L*.

Puhtaasti induktiivisen kuorman teho on induktiivista loistehoa, ja se vaihtelee negatiivisen ja positiivisen välillä. Aina kun jännite tai virta on nolla, myös teho on nolla. Positiivisella puolella teho siirtyy siirtoverkosta kelan magneettikenttään ja negatiivisella puolella kelan magneettikentästä siirtoverkkoon. Loisteho ei ole työtä tekevää tehoa, ja se värähtelee siirtoverkon ja kuorman välillä. Tällöin energia menee hukkaan siirtoverkossa.



ESIMERKKI

Lasketaan piirin induktiivinen reaktanssi ja virta.



Kelan reaktanssi:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 60\ \text{Hz} \cdot 0{,}010\ \text{H}$$

$$X_L = 3{,}769\ \Omega$$

Piirin virta: $I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{10\ \text{V}}{3{,}769\ \Omega} = 2{,}65\ \text{A}$

Teho on nolla, kun virta tai jännite on nolla. Teho voi olla joko positiivinen tai negatiivinen. Negatiivinen teho tarkoittaa, että kelasta vapautuu energiaa takaisin sähkölähteelle, kun taas positiivinen teho tarkoittaa, että kela käyttää sähkölähteen energiaa. Koska positiivinen ja negatiivinen teho vaihtelevat tasaisesti, kela vapauttaa energiaa sähkölähteelle yhtä paljon kuin se käyttää sähkölähteen energiaa. Tämä tapahtuu kuitenkin vain täydellisessä kelassa, jossa ei ole lainkaan johtimen resistanssia.

TEHTÄVIÄ

1. Laske kelan reaktanssi, kun kelan induktanssi on 0,2 H ja piirin taajuus on

   a) 50 Hz _____

   b) 600 Hz _____

   c) 40 kHz _____

2. Kelan reaktanssi on 120 Ω ja piirin taajuus on 4 KHz. Laske kelan induktanssi.

   _____

3. Piirissä vaikuttavat 230 V:n vaihtojännite ja 50 Hz:n taajuus, ja piirin mitattu virta on 1,2 A. Laske kelan induktanssi.

   _____

   _____

4. Piirissä vaikuttaa 200 V:n vaihtojännite, jonka taajuus on 2 kHz, ja kela, jonka induktanssi on 50 mH. Laske kelan a) reaktanssi ja b) virta.

   _____

   _____

Näennäisteho on tehollisen jännitteen ja tehollisen virran tulo. Jos jännite ja virta ovat samassa vaiheessa, pätöteho on yhtä suuri kuin näennäisteho. Jos piirissä on muutakin kuormaa kuin resistiivistä, näennäisteho on suurempi kuin kulutettu teho todellisuudessa. Näennäisteho on pätötehon ja loistehon geometrisesti yhteenlaskettu teho. Näennäistehon yksikkö on volttiampeeri (VA) ja suuretunnus *S*. Näennäisteho oli siis tehollisen virran ja tehollisen jännitteen tulo

$$S = U \cdot I$$

Loisteho ei tee työtä, joten se ei ole varsinaisesti hyötyenergiaa. Loistehon avulla ei saa valoa lamppuun, eikä sen tuottaminen kuluta voimalaitoksella polttoainetta. Loisteho kuitenkin aiheuttaa kaapelissa virran kasvua, jolloin tarvitaan paksumpi kaapeli. Suurempi virta aiheuttaa myös enemmän häviötä sähkön siirrossa. Sähköyhtiö perii myös erillistä maksua loistehon siirrosta, joten sitä ei kannata kuljettaa sähköverkossa. Loistehosta pyritäänkin eroon lähellä kulutuspisteitä. Koska loisteho on useimmiten induktiivista, sitä saadaan poistetuksi induktiivisen kuorman vastaisella kuormalla eli kapasitiivisella kuormalla. Loistehon kompensointiin (kuorman tasapainottamiseen) käytetään tämän vuoksi kondensaattoreita.

Loisteho on tehoa, josta ei yleensä ole hyötyä. Jotkin laitteet, kuten moottorit ja muuntajat, kuitenkin tarvitsevat loistehoa. Loistehon yksikkö on vari (var) ja suuretunnus Q (VAr = reaktiivinen volttiampeeri).

Näennäistehohan on loistehon ja pätötehon geometrisesti yhteenlaskettu teho. Näiden kolmen tehon suhdetta voidaan kuvata tehokolmiolla. Tämän kolmion mukaan voidaan myös eri tehot laskea.

Tehokerroin eli cos φ on vaihtosähkökuormissa pätötehon ja näennäistehon suhde eli $\frac{P}{S}$.

Tehokerroin on resistiivisellä kuormalla 1, jolloin sähköverkossa on ainoastaan pätötehoa. Kun kuorma on osittain induktiivista, kuten sähkömoottoreissa, tehokerroin on alle 1. Tällöin sähköverkossa on loistehoa ja tarvitaan loistehon kompensointia.

S = näennäisteho
Q = loisteho
P = pätöteho
φ = vaihesiirtokulma

Vaihesiirtokulma eli φ kertoo pätötehon ja näennäistehon välisen eron kulmamuodossa.

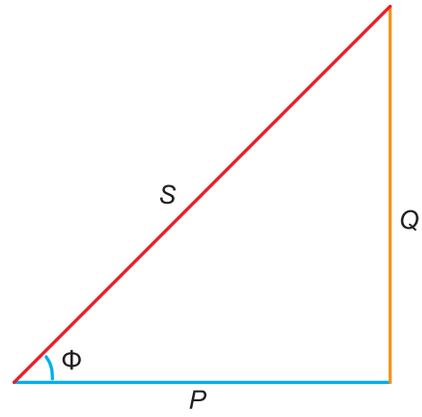
Se voidaan myös laskea: $\varphi = \arccos\left(\frac{P}{S}\right)$

Kolmiosta voidaan ratkaista Pythagoraan lauseella tehot.

Näennäisteho S: $S = \sqrt{Q^2 + P^2}$

Pätöteho P: $P = \sqrt{S^2 - Q^2}$

Loisteho Q: $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$



ESIMERKKI

Jos pätöteho P = 210 kW ja loisteho Q = 25 kVar, kuinka suuri on näennäisteho?

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2} = \sqrt{(25 \cdot 10^3)^2 + (210 \cdot 10^3)^2} = 211482 \text{ VA} = 211 \text{ kVA}$$

TEHTÄVÄ

1 Kuinka suuri on vaihtosähköpiirin loisteho, jos näennäisteho on 30 kVA ja pätöteho 300 kW?

Sähköinen impedanssi eli vaihtovirtavastus kuvaa, kuinka paljon vaihtosähköpiirin komponentit yhteensä aiheuttavat piirille vastusta. Impedanssin suuretunnus on Z ja yksikkö Ω.

Ohmin lain avulla lasketaan impedanssi: $Z = \frac{U}{I}$

Sähköinen impedanssi on tasasähkössä sama kuin resistanssi, mutta vaihtosähkössä impedanssi muodostuu resistanssista ja reaktanssista. Impedanssin ja resistanssin sovelluksia on jokaisen kodissa.

Kodin sähköverkkoa hallitaan sähkökaapissa olevien sulakkeiden avulla. Kun kaapelia pitkin tulee jännitepiikki, sulakkeet häiritsevät sähkön kulkua, jotta vahingot saadaan mahdollisimman pieniksi. Ilman sulakkeita talon sähköverkko palaisi ja se täytyisi jokaisella kerralla rakentaa uudelleen alusta. Tämä ongelma on onneksi ratkaistu impedanssin ja resistanssin avulla.

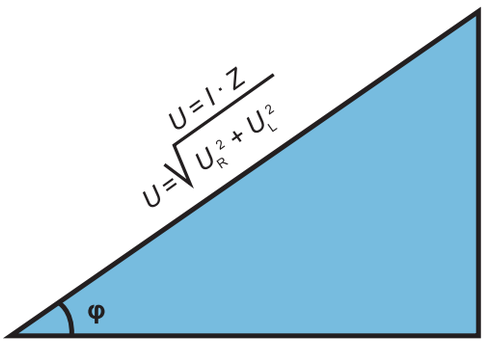
Impedanssi on tärkeä myös kondensaattoreissa. Se valvoo kondensaattoreiden sähkövirtaa piirilevyllä. Ilman kondensaattoreita, jotka säätelevät ja valvovat sähkövirran kulkua, vaihtosähköä käyttävät elektroniset laitteet palai-

sivat tai menisivät sekaisin. Koska vaihtosähkössä suunta ja suuruus vaihtelevat, täytyy olla portti, joka valvoo sähkön kulkua ja antaa sen kulkea sujuvasti, jottei sähköverkko ylikuormitu. Vaihtosähköpiirin kokonaisimpedanssi voidaan laskea virran ja jännitteen avulla (vrt. Ohmin laki) tai komponenttien reaktanssien avulla.

Vaihtosähköpiireissä kokonaisresistanssi saadaan lasketuksi summaamalla vain siinä tapauksessa, että kuormat ovat puhtaasti resistiivisiä. Tavallisesti piiriin kuuluu myös kela tai kondensaattori, joiden reaktanssi on otettava huomioon. Näiden summa voidaan laskea impedanssikolmion avulla. Tässäkin käytetään hyödyksi Pythagoraan lausetta.

Laskennassa voidaan käyttää apuna kolmioita, kuten jännitekolmiota, tehokolmiota ja impedanssikolmiota.

Jännitekolmio

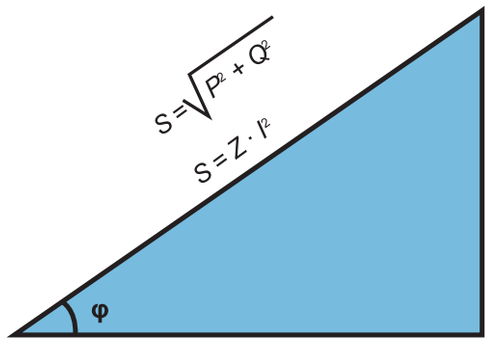


$U_L = U \cdot \sin \Phi$

$U_L = I \cdot X$

$U_R = U \cdot \cos \varphi$

Tehokolmio



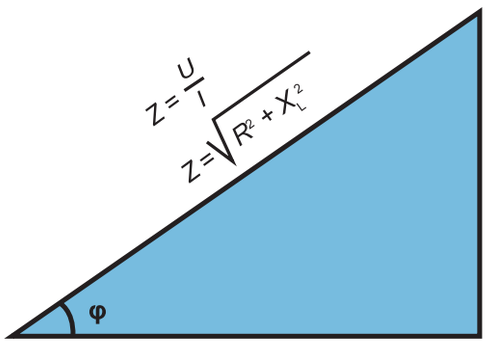
$Q = S \cdot \sin \varphi$

$Q = X_L \cdot I^2$

$P = S \cdot \cos \varphi$

$P = R \cdot I^2$

Impedanssikolmio



$X_L = \frac{U_L}{I}$

$X_L = Z \cdot \sin \varphi$

$R = \frac{U_R}{I}$

$R = Z \cdot \cos \varphi$

TEHTÄVIÄ

1 Jääkaappi oli kytketty sähköverkkoon (230 V) ja otti 140 W:n pätötehon, kun kompressori oli käynnissä. Jännitemittari näytti tuolloin 225 V ja virtamittari 0,69 A. Kuinka suuria olivat

a) näennäisteho _____

b) loisteho _____

c) jääkaapin impedanssi Z _____

d) vaihesiirtokulma φ ? _____

2 Sähkölaite ottaa verkosta (230 V/50 Hz) 1,7 A:n virran ja 390 W:n tehon. Laske laitteen tehokerroin.

_____

3 Sähkömoottorissa on merkinnät $U = 230$ V, $I = 1{,}2$ A ja $\cos\varphi = 0{,}85$. Laske S, P, Q, U_R, U_L, Z, R, X_L ja φ.

_____

_____

_____

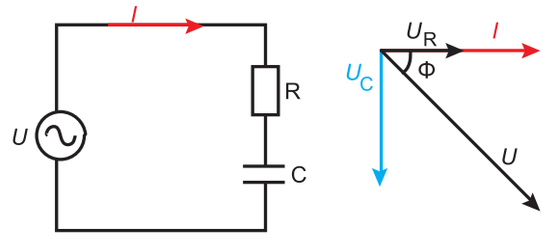
_____

Vaihtosähköpiirien sarjakytkentä

Vastus ja kondensaattori

Alla olevan kuvan kaltainen kytkentä saadaan, kun kytketään sarjaan vastus ja kondensaattori. Vaihtojännitegeneraattori tuottaa jännitteen piiriin. Generaattorin jännite U saa aikaan virran I vastuksen ja kondensaattorin kautta. Kun virta menee vastuksen läpi, se synnyttää jännitehäviön U_R vastuksella. Samoin kondensaattorin reaktanssissa syntyy jännitehäviö U_C. Näiden avulla piiristä on piirretty alla oleva osoitinpiirros.

Osoitinpiirros piirretään vaihe kerrallaan. Sama virta menee molempien komponenttien läpi, joten piirretään virta ensin. Koska resistanssissa virta ja jännite ovat samassa vaiheessa, piirretään U_R sa-



maan suuntaan virtaosoittimen kanssa. Kondensaattorissa virta on 90° jännitettä edellä, joten piirretään U_C 90° virtaosoitinta jäljessä. Kokonaisjännite on näiden kahden jännitteen (U_R ja U_C) geometrinen summa.

Sarjapiirin kokonaisjännite voidaan laskea geometrisesti Pythagoraan lauseella $U = \sqrt{U_R{}^2 + U_C{}^2}$.

Sarjapiirin impedanssi Z lasketaan seuraavasti: $Z = \frac{U}{I}$.

Z voidaan myös laskea resistanssin ja reaktanssin avulla geometrisesti käyttäen apuna impedanssikolmiota: $Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$.

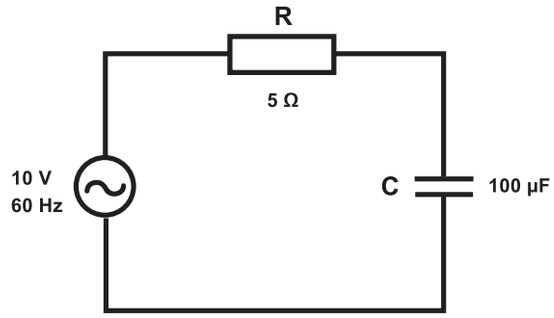
Vaihesiirtokulma ilmaisee kokonaisjännitteen ja virran välisen kulman, ja se lasketaan seuraavasti:

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} \quad \text{tai} \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z}.$$

Kun halutaan laskea kulman ϕ suuruus, käytetään arkusfunktiota:

$$\varphi = \arccos\frac{U_R}{U} \quad \text{tai} \quad \arccos\frac{R}{Z}.$$

ESIMERKKI



Vastuksen resistanssi tässä piirissä on 5 Ω, mutta kondensaattorin aiheuttama reaktanssi täytyy ensin laskea:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \cdot 60\ \text{Hz} \cdot (100 \cdot 100^{-6})} = 26{,}5\ \Omega$$

Nyt voidaan laskea impedanssi, kun tiedetään molempien komponenttien aiheuttama vastus vaihtosähköpiirille:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2} = \sqrt{5^2 + 27^2} = 27{,}46\ \Omega$$

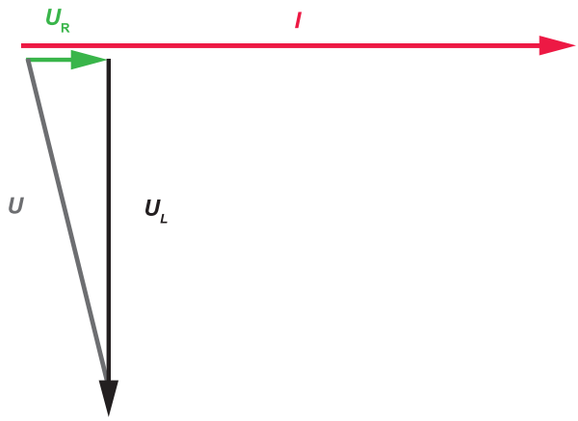
Seuraavaksi lasketaan piirin virta. Piirin kokonaisvastus eli impedanssi on jo tiedossa, joten virta lasketaan Ohmin lain mukaisesti:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{10\ \text{V}}{28\ \Omega} = 0{,}36\ \text{A} = 360\ \text{mA}$$

Nyt voidaan laskea kondensaattoriin ja vastukseen vaikuttavat jännitteet U_C ja U_R:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{10\ \text{V}}{28\ \Omega} = 0{,}36\ \text{A} = 360\ \text{mA}$$

Lopuksi voidaan piirtää osoitinpiirros.



TEHTÄVIÄ

1 Vaihtovirtapiirissä on kytketty sarjaan vastus ja kondensaattori. Vastuksen resistanssi R = 470 Ω ja kondensaattorin reaktanssi X_C = 820 Ω.

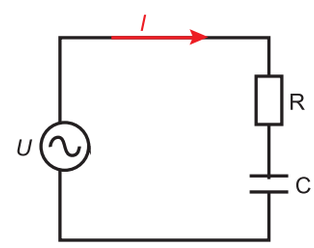
a) Kuinka suurin on kytkennän impedanssi?

b) Kuinka suuri on kytkennän vaihesiirtokulma?

2 Kuvan kytkennän kokonaisjännite U = 230 V ja vaihesiirtokulma on 43°.

a) Kuinka suuri on jännite U_R?

b) Kuinka suuri on jännite U_C?



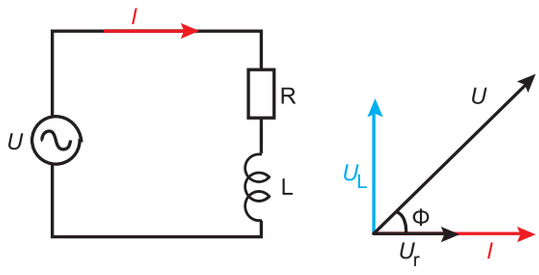
3 Kondensaattorin kapasitanssi on 82 µF ja vastuksen resistanssi 150 Ω. Kytkentään vaikuttaa 230 V:n jännite, jonka taajuus on 50 Hz. Laske X_C, Z, I, U_R, U_C ja φ ja piirrä osoitinkuva.

Vastus ja kela

Kuvassa vaihtojännitegeneraattori synnyttää jännitteen U, josta seuraa piiriin virta I. Virta saa aikaan vastuksen läpi kulkiessaan jännitehäviön U_R vastukselle sekä kelan läpi kulkiessaan jännitehäviön U_L kelalle.

Vastuksen resistanssi ja kelan reaktanssi muodostavat piirin impedanssin Z, joka vastustaa virran kulkua piirissä.

Jännitehäviöiden avulla voidaan piirtää piirin osoitinpiirros. Osoitinpiirros piirretään samalla periaatteella kuin kondensaattorin ja vastuksenkin kohdalla tehtiin. Poikkeus tässä on kelan jännitehäviö U_L, joka on virtaa edellä. Jännitehäviöiden avulla voidaan geometrisesti laskea kokonaisjännite:



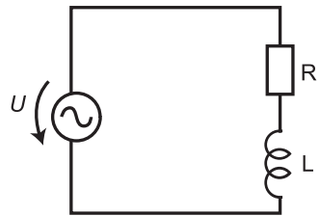
$$U = \sqrt{U_R^{\,2} + U_L^{\,2}}$$

Impedanssi voidaan myös laskea kelan reaktanssin ja vastuksen resistanssin avulla:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^{\,2}}$$

ESIMERKKI

Vaihtosähköpiiriin on kytketty 230 V:n jännitteeseen sarjaan vastus R = 150 Ω ja kela L = 0,56 H. Piirretään piirin kytkentä ja lasketaan X_L, Z, I, U_R, U_L ja ϕ. Piirretään osoitinpiirros kytkennästä.



U = 230 V R = 150 Ω L = 0,56 H

Vastaus:

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 50\ \text{Hz} \cdot 0{,}56\ \text{H} = 175{,}92\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^{\,2}} = \sqrt{(150\ \Omega)^2 + (176\ \Omega)^2} = 231\ \Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230\ \text{V}}{231\ \Omega} = 1\ \text{A}$$

$$U_R = IR = 1\ \text{A} \cdot 150\ \Omega = 150\ \text{V}$$

$$U_L = IX_L = 1\ \text{A} \cdot 176\ \Omega = 176\ \text{V}$$

$$\varphi = \arccos\frac{U_R}{U} = \arccos\frac{150\ \text{V}}{230\ \text{V}} = 49°$$

TEHTÄVIÄ

1 1,3 kΩ:n vastus on kytketty sarjaan 15 mH:n kelan kanssa. Piirin taajuus on 10 kHz. Mikä on piirin impedanssi? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 942 Ω b) 1,6 kΩ c) 160 Ω d) 1300 Ω

2 Kun RL-sarjapiirin taajuus pienenee, mitä piirin impedanssille tapahtuu? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) Impedanssi pienenee. b) Impedanssi suurenee.

c) Impedanssi pysyy vakiona. d) Impedanssia ei voi määritellä ilman arvoja.

3 Kun RL-sarjapiirin vastukseen vaikuttava jännite on pienempi kuin kelaan vaikuttava jännite, mitä vaihesiirtokulmalle tapahtuu? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) Vaihesiirtokulma pienenee. b) Vaihesiirtokulma suurenee.

c) Vaihesiirtokulma ei muutu. d) Asiaa ei voi määritellä.

5 Magnetismi

Tässä luvussa

- **tutustutaan magnetismiin fysikaalisena ilmiönä ja sen hyödyntämiseen nykytekniikassa.**
- **tarkastellaan sähkövirran aikaansaamaa magneettikenttää**
- **opitaan releen, tasavirtamoottorin ja vaihtovirtageneraattorin toimintaperiaatteet.**

Nimi ”magnetismi” juontuu 3000 vuoden takaa Itä-Kreikassa sijaitsevasta Magnesia-nimisestä paikasta, jossa on ollut luonnonmagneettiesiintymä. Kiinalaiset sovelsivat ilmiötä keksimällä kompassin. Eurooppaan kompassi tuli 1100-luvulla.

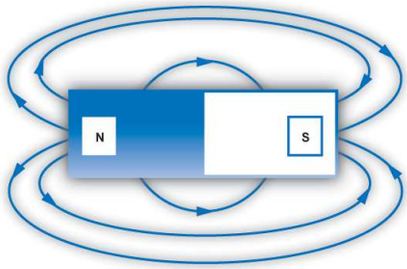
Ferromagnetismi

Ferromagnetismilla tarkoitetaan magneettisen aineen kykyä vetää raudansukuisia aineita puoleensa. Magneetti on kappale, jonka ympärillä on magneettikenttä. Magneetissa on **aina** kaksi napaa – pohjoisnapa N ja etelänapa S –, pilkottiinpa se kuinka hienoksi jauheeksi tahansa.

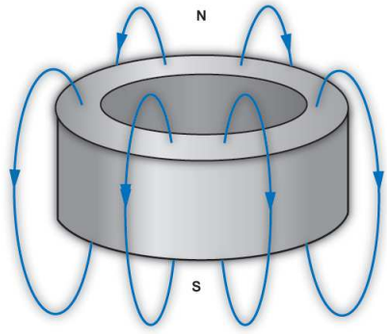
Magneettikenttää havainnollistetaan kenttäviivoilla. Kenttäviivanuolet muodostavat suljettuja renkaita napojen N ja S välille. Kappaleen ulkopuolella kenttäviivanuolien suunta on N-navasta S-napaa kohti. Ne kulkevat myös kappaleen sisällä, mutta päinvastoin kuin ulkoinen kenttä eli S-navasta kohti N-napaa.

Kenttäviivat, joita myös voimaviivoiksi kutsutaan, muodostavat magneettivuon jonka suuretunnus on fii, Φ , ja mittayksikkö weber, Wb. Magneettikentän voimakkuutta esitetään kenttäviivojen tiheydellä, joka on sama kuin vuontiheys.

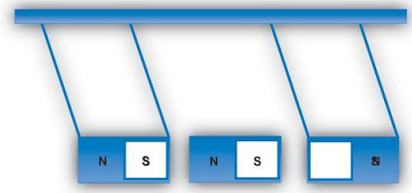
Vuontiheys on SI-yksikkö. Sen suuretunnus on B ja mittayksikkö tesla, T (= Wb/m^2 = Vs/m^2). Yksikkö on nimetty Nikola Teslan mukaan. Magneettivuon tiheyden yksikkönä käytetään myös gaussia, joka ei ole SI-yksikkö. Sen suuretunnus on G tai Gs. Teslan ja gaussin välinen suhde on 1 T = 10000 Gs tai 1 Gs = 10^{-4} T.



▲ Magneettikentän kenttäviivat



▲ Magneettikentän kenttäviivat rengasmagneetissa



▲ Magneettien voimavaikutus. Magneetin kumpikin napa vetää puoleensa raudansukuisia aineita. Kahden magneetin erimerkkiset navat vetävät toisiaan puoleensa ja samanmerkkiset navat hylkivät toisiaan.

TEHTÄVIÄ

1. Millä yleisesti käytössä olevalla laitteella magneettikenttä voidaan todeta?

2. Missä kaikissa arkipäivän laitteissa käytetään kestomagneetteja?

3. Maapallolla on oma magneettikenttä. Mikä magneettinen napa on pohjoisnavalla ja mikä etelänavalla?

4. Kuinka monta teslaa on maapallon magneettikenttä? Onko sen suuruus mielestäsi iso vai pieni?

TEHTÄVIÄ

5 Kompassin, karttapohjoista osoittava napa on yleensä punainen nuoli.
Onko se N- vai S-napa?

6 Onko mahdollista tehdä magneetti, jossa on vain N-napa tai vain S-napa?
Perustele vastauksesi.

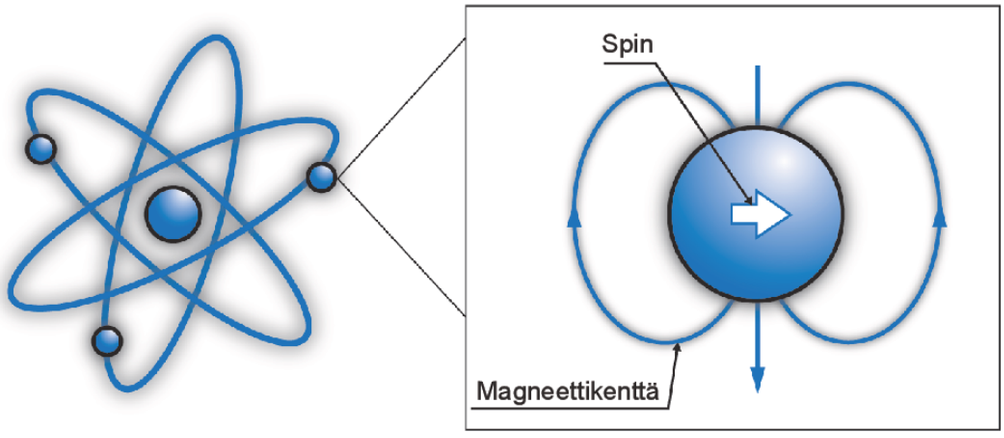
7 Miten kompassi toimii?

8 Piirrä kuva a) kestomagneetista, merkitse navat ja piirrä kenttäviivat, b) kahdesta magneetista, jotka ovat vastakkain, siten että niiden vastaiset navat ovat samanmerkkiset. Merkitse navat ja piirrä kenttäviivat. Kumpi voima kuvassasi on, veto- vai työntövoima?

a) b)

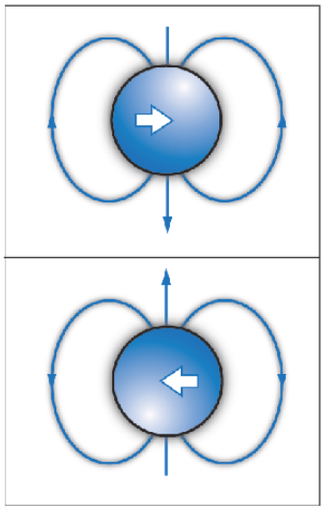
Spin

Kappaleen pyörimisestä oman akselinsa ympäri käytetään nimitystä spin. (Vrt. Kilpa-auton sanotaan ”spinnaavan”, kun se pyörähtää renkaat radan pinnassa 360 astetta.) Magneettisuus perustuu aineen atomitasolla elektronien pyörimisliikkeeseen oman akselinsa ympäri. Kun elektronin pyörimissuunta vaihtuu, myös sen magneettinen napaisuus vaihtuu.

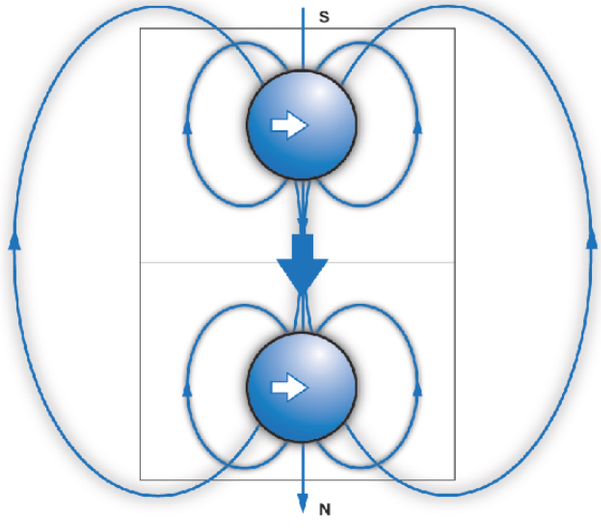


Aineen atomi ja erään elektronin pyörimisliike oman akselinsa ympäri

Kun elektronin spinit vaikuttavat eri suuntiin, ne kumoavat toistensa vaikutuksen. Kun taas useampi elektroni aineen atomissa tai molekyylissä pyörii samaan suuntaan, syntyy aineessa ulkoapäin havaittava magneettikenttä ja N- ja S-navat muodostuvat.



Erisuuntaiset spinit kumoavat toisensa.



Samansuuntaisista spineistä syntyy alkeismagneetti.

TEHTÄVIÄ

1. Miten alkeismagneetti syntyy?

2. Miten magneettikentän voimakkuuden käy, jos elektronien pyöriminen kiihtyy suuremmaksi?

3. Miten magneettikentän käy, jos elektronit lakkaavat pyörimästä akselinsa ympäri?

Kestomagneetin valmistaminen

Luonnosta saatavien maaperäisten aineiden magneettiset vaikutukset ovat heikkoja. Ainetta, joka säilyttää magneettisuutensa, kutsutaan magneettisesti kovaksi aineeksi. Kestomagneetti tehdään asettamalla teräskappale virrallisen käämin sisään, jolloin sähkövirran kulku johtimessa aikaansaa magneettikentän. Magneettikenttä kääntää suuren osan teräskappaleen sisäisistä alkeismagneeteista samansuuntaisiksi. Kun ulkoinen kenttä poistetaan eli sähkövirta katkaistaan, jäävät magneettisesti kovan aineen alkeismagneetit samansuuntaisiksi ja muodostavat kestomagneetin. Tätä kutsutaan remanenssiksi eli jäännösmagnetismiksi. Mitä suurempi aineen remanenssi on, sitä voimakkaampi myös magneetti on. Neodyymimagneetti on nykyisin yleisesti käytetty kestomagneetti. Se on raudan, neodyymin ja boorin seos (NdFeB). Korkeat lämpötilat ja mekaaniset iskut heikentävät kestomagneetin kenttää.

Magnetismin lajit

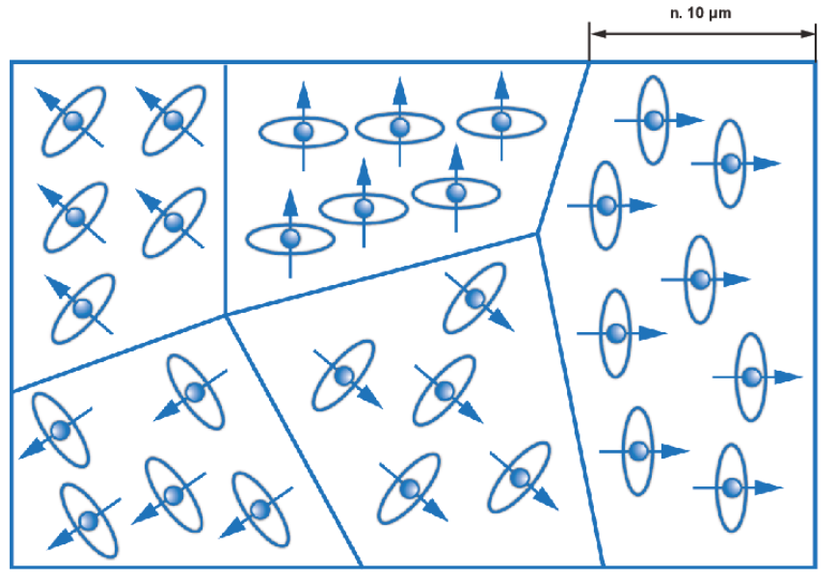
Aineet jaotellaan kolmeen ryhmään sen mukaan, kuinka ulkopuolinen magneettikenttä vaikuttaa niiden ominaisuuksiin:

- **diamagneettinen aine**. Normaalitilassa atomien sisäiset magneettikentät kumoavat toisensa, joten aineella ei ole ulospäin havaittavaa magneettikenttää. Ulkoisen kentän vaikutuksesta diamagneettiseen kappaleeseen syntyy heikko vastakkainen kenttä, joka heikentää ulkoista kenttää aineen sisällä, eikä vetovoimaa synny. Kappaleella ei ole remanenssia. Diamagneettisia aineita ovat muun muassa kupari, sinkki, hopea ja kulta.

- **paramagneettinen aine**. Normaalitilassa atomien spinit vahvistavat toisiaan. Atomit tai molekyylit muodostavat pieniä alkeismagneetteja, jotka ovat satunnaisessa järjestyksessä toisiinsa nähden ja ne kumoavat toistensa vaikutuksen ulospäin. Ulkopuolinen kenttä pystyy kääntämään osan alkeismagneeteista samansuuntaiseksi, ja kappaleeseen jää heikko vetovoima. Sillä on pieni remanenssi. Paramagneettisia aineita ovat muun muassa alumiini, platina ja mangaani.

- **ferromagneettinen aine**. Aineen atomit tai molekyylit muodostavat alkeismagneetteja, ja ne ovat ryhmittyneet samansuuntaisiksi pienillä alueilla. Alueita kutsutaan Weissin alueiksi (Pierre-Ernest Weiss, Ranska 1906). Alueet muodostavat pieniä alkeismagneettikenttiä. Viereisten kenttien magnetoitumissuunnat ovat kuitenkin satunnaisia, ja ne kumoavat toisiaan. Aineella ei ole ulospäin havaittavaa magneettikenttää. Ulkopuolinen magneettikenttä pystyy kääntämään osan tai kaikki Weissin alueet samansuuntaisiksi, jolloin kappaleesta tulee magneetti. Sillä on suuri remanenssi. Ferromagneettisia aineita ovat muun muassa rauta, nikkeli, koboltti. Seosaineita taas ovat boori (B) ja neodyymi (Nd).

Weissin alueet



Ferromagneettinen aine magneettikentän vaikutuksessa

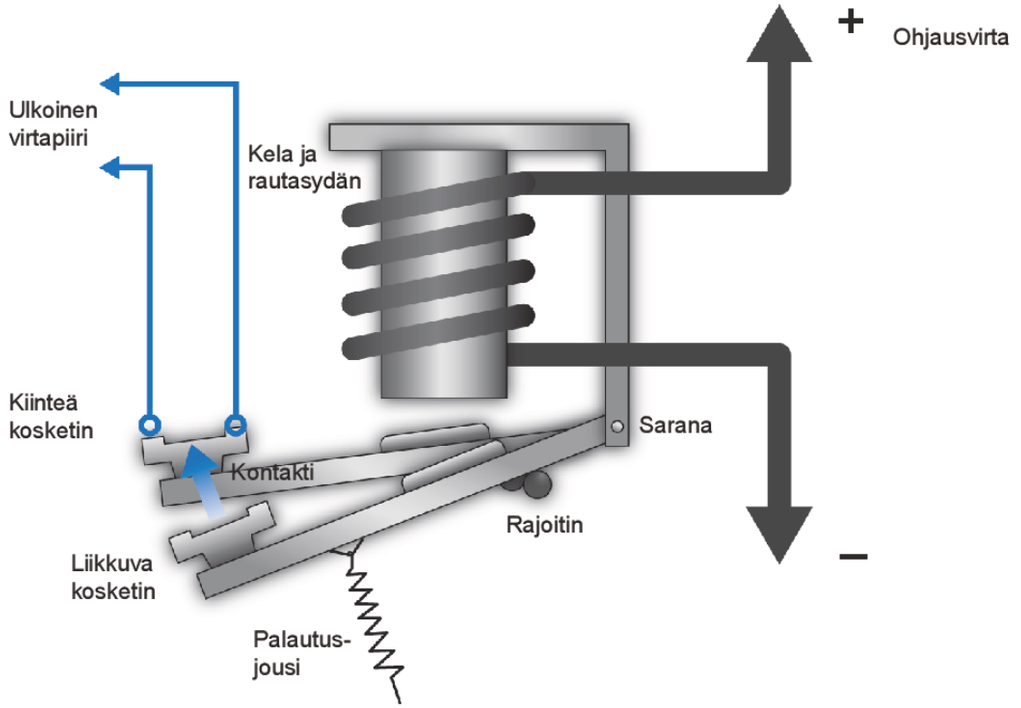
TEHTÄVIÄ

1 Mitä edellä mainituista aineista magneetti vetää puoleensa?

Sähkömagneetit

Kestomagneetit valmistetaan aineesta, jonka remanenssikenttä on hyvin voimakas, jotta magneettisuus säilyisi kauan. Sähkömagneetit valmistetaan magneettisesti pehmeästä aineesta, jonka remanenssikenttä on mahdollisimman heikko. Sähkömagneetin on oltava magneettinen vain silloin, kun virta on kytkettynä. Sähkövirran pois kytkeminen poistaa magneettisuuden. Rele on tyypillinen sähkömagneetti sovellus.

Kytkettäessä virta releen käämiin sen vaikutuksesta syntyy keskellä olevaan rautakappaleeseen magneettiset navat, ja se vetää saranoitua rautaliuskaa puoleensa. Rautaliuskaan on kiinnitetty kosketinkärjet, jotka yhdistävät ulkoisen virtapiirin katkaisijan tavoin. Kun ohjausvirta kelalle katkaistaan, magneettisuus katoaa. Jousivoima avaa kosketinkärjet, ja ulkoinen virtapiiri katkeaa. Magneettikenttä tekee työtä jousivoimaa vastaan.



TEHTÄVIÄ

1. Miksi remanenssi eli jäännösmagnetismi on tärkeä ilmiö magnetismissa?

2. Miksi releen rautasydämen on oltava magneettisesti pehmeää ainetta?

TEHTÄVIÄ

3 Toimiiko kuvan rele, jos kelan ohjausjännitteen napaisuus vaihtuu? Perustele.

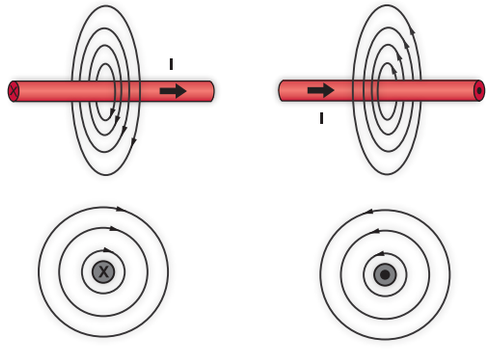
4 Mieti, voisiko releessä olla useampia kontakti-kosketinpareja? Perustele.

Sähkövirran aiheuttama magneettikenttä johtimessa

Johtimen magneettikenttä

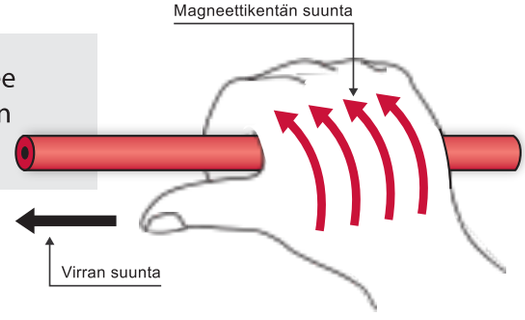
Sähkövirta (I) aikaansaa magneettikentän johtimessa. Virran kulkusuunta vaikuttaa kentän suuntaan. Magneettikenttää kuvataan vuoviivoilla, joista käytetään myös nimitystä kenttäviivat.

Virran aiheuttama magneettikenttä. Kuvassa virran kulkusuunta on katsojasta poispäin. Muistisääntö: Ammutun nuolen sulka näkyy kuvassa: keskellä on rasti.



Virran aiheuttama magneettikenttä. Kuvassa virran kulkusuunta on katsojaa kohti. Muistisääntö: Ammuttu nuoli tulee katsojaa kohti: keskellä on piste.

Muistisääntö virran ja kentän suhteesta: Kun virta kulkee peukalon suuntaan, sormet osoittavat magneettikentän suunnan.



Oikean käden peukalosääntö

Yhden johtimen aikaansaama magnetomotorinen voima (mmv, merkitään Fm) on heikko. Magneettikentän vahvistamiseksi johdin kierretään kelalle. Magnetomotorinen voima voidaan laskea kaavalla $Fm = N \cdot I$. Johdinten kierrosmäärä on N, ja johtimessa kulkeva virta on I.

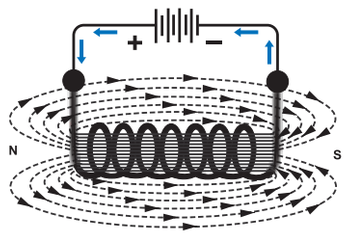
1 Selvitä oikean käden peukalosäännön avulla, mikä on virrallisen johtimen ympärilleen muodostaman magneettivuon suunta.

2 a) Piirrä kuva johtimesta tasolle, jossa virta kulkee katsojaa kohti. Piirrä kuvaan magneettikentän suunta. b) Piirrä kuva johtimesta tasolle, jossa virta kulkee katsojasta poispäin. Piirrä kuvaan magneettikentän suunta.

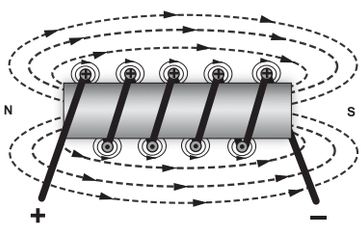
a)

b)

Kelan magneettikenttä



▲ Sähkövirran aikaansaama magneettikenttä ja sen suunta kelassa



▲ Lisättynä rautasydän

Magnetomotorinen voima saadaan vahvemmaksi, kun johdin kierretään kelalle. Kaikki vuoviivat kulkevat samaan suuntaan vahvistaen toisiaan. Kelasta syntyy sähkömagneetti. Kun kelaan laitetaan rautasydän, kenttä vahvistuu entisestään moninkertaiseksi, koska myös rautasydämen alkeismagneetit kääntyvät kelan kentän suuntaiseksi. Kelan magnetomotorinen voima (mmv) on riippuvainen johdinkierrosmäärästä ja virrasta. Magnetomotorinen voima noudattaa yhtälöä $Fm = N\,I$ jossa N = kierrosmäärä ja I = virta, yksikkö on A (=ampeerikierros).

Kelan magneettikentän määrittämien oikean käden säännöllä:

Kun tartut oikealla kädellä kelaan siten, että virran suunta on ranteesta sormiin, sivulle ojennettu peukalo osoittaa kentän pohjoisnavan (N) suunnan

Kelan magneettiset navat oikean käden säännöllä. Huom. Käden on oltava samalla puolella kelaa, josta virta tulee.

TEHTÄVIÄ

1. Laske sähkömagneetin magnetomotorinen voima, kun kelassa on 800 kierrosta ja sen läpi kulkee 10 A:n virta.

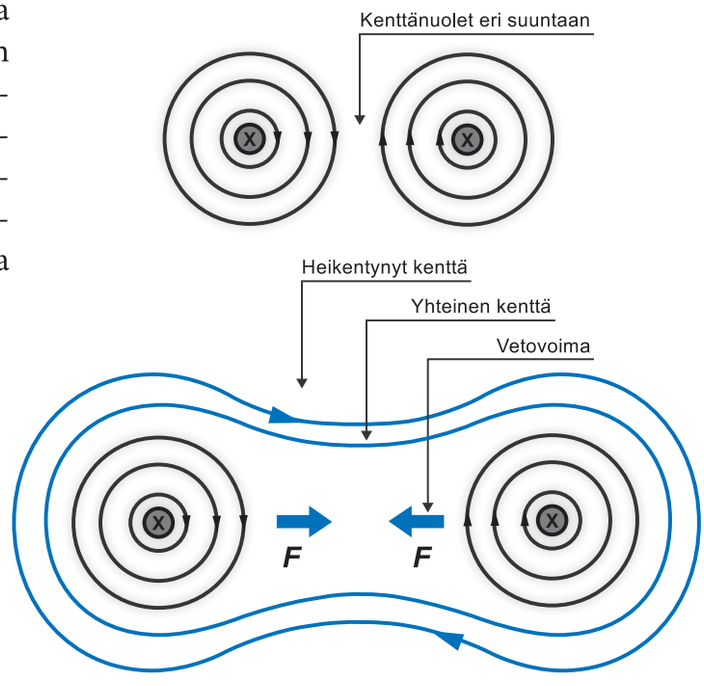
2. Kelan läpi kulkee 3 A:n virta. Laske, kuinka monta kierrosta kelassa on oltava, jotta nostovoima pysyy samana.

Magneettikenttien voimavaikutukset

Keskinäinen vaikutus

Tapaus 1: Virrat kulkevat samaan suuntaan johtimissa

Virta kulkee kahdessa lähekkäin olevassa johtimessa **samaan suuntaan**. Johtimien magneettikentät ovat eri suuntaan ja kenttänuolet ovat vastakkain, joten ne kumoavat toisiaan ja kenttä heikkenee tässä kohtaa. Voidaan siis ajatella, että syntyy magneettikentän tyhjiö. Tyhjiö vetää johtimia puoleensa voimalla *F*.

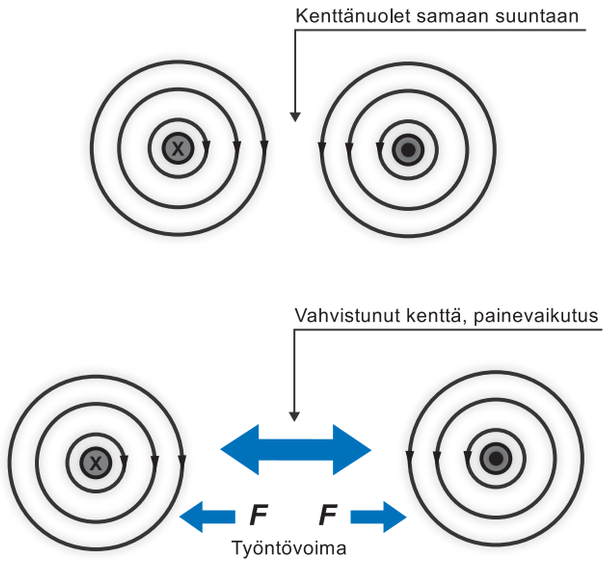


Virrat kulkevat johtimissa samaan suuntaan: vetovoimavaikutus.

Tapaus 2: Virrat kulkevat eri suuntiin johtimissa

Virta kulkee kahdessa lähekkäin olevassa johtimessa **eri suuntiin**. Johtimien magneettikentät ovat samaan suuntaan ja kenttänuolet ovat rinnakkain, joten ne vahvistavat toisiaan ja kenttä vahvistuu tässä kohtaa. Voidaan siis ajatella, että syntyy magneettikentän painevaikutus. Paine työntää johtimia erilleen voimalla *F*. (Muistisääntö: Kun suuri joukko ihmisiä pyrkii ovesta ulos samaan suuntaan, syntyy tungos eikä mahduta kulkemaan.)

Virrat kulkevat johtimissa eri suuntiin: työntövoimavaikutus.



$$F = \frac{k \cdot l \cdot I_1 \cdot I_2}{a}$$

jossa F = johtimien välinen voima (N),
I_1 ja I_2 = johtimien virta (A),
l = johtimien pituus (rinnakkainen) (m),
a = johtimien välinen etäisyys (m).

Väliaineen kerroin on k, ilmalle $2 \cdot 10^{-7}$ N/A^2.

On huomattava, että jos johtimet ovat 90°:n kulmassa toisiinsa nähden (+), niiden välille ei synny voimavaikutusta, koska $l = 0$.

ESIMERKKI

Sähköpylvääseen on asennettu 2 johdinta 25 cm:n etäisyydelle toisistaan. Pylväiden väli on 50 m. Kuinka suuri voima johtimien välillä vaikuttaa 10 pylvään matkalla? Johtimissa kulkee 200 A:n virta.

$l = 9 \cdot 50$ m$= 450$ m, $k = 2 \cdot 10^{-7}$ N/A^2, I_1 ja $I_2 = 200$ A, $a = 0{,}25$ m

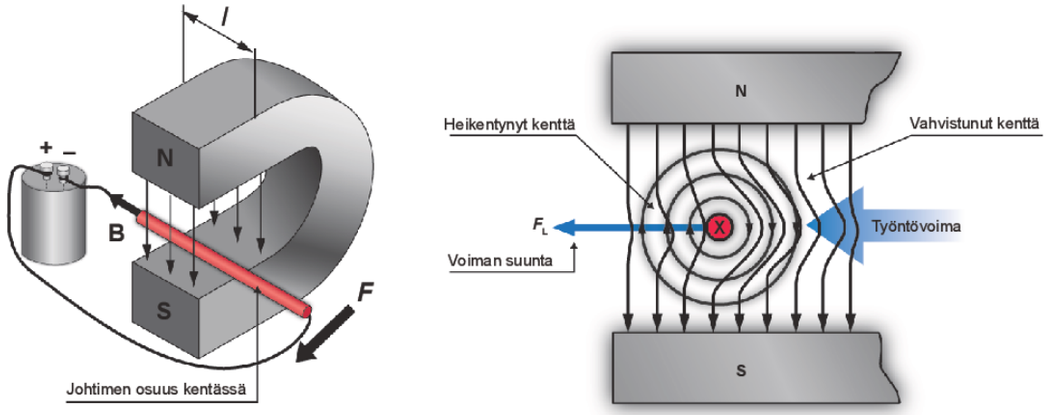
Vastaus: 14,4 N

TEHTÄVIÄ

1. Laske, mikä on johtimien välinen voima, jos edellä olevan esimerkin johtimet ovat 10 cm:n etäisyydellä toisistaan ja johtimien virta on 500 A.

Virrallinen johdin magneettikentässä

Kun asetetaan virrallinen johdin ulkoiseen magneettikenttään, siihen kohdistuu voimavaikutus. Voimavaikutuksen suunta riippuu ulkoisen kentän suunnasta ja johtimessa kulkevan virran suunnasta. Voiman suuruus lasketaan siltä osalta, mikä osuus johtimesta on ulkoisen kentän vaikutuksessa. Johdin pyrkii siirtymään heikentyneen kentän suuntaan, ja voimavaikutusta vahvistaa vielä ylipaine vahvistuneen kentän puolelta. On huomioitava, että jos johdin on pystyssä kenttäviivojen suuntaan, siihen ei kohdistu voimavaikutusta.



▲ Ulkoisen magneettikentän voimavaikutus virralliseen johtimeen

TEHTÄVIÄ

1. Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

2. Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos johtimen virran suunta vaihtuu?

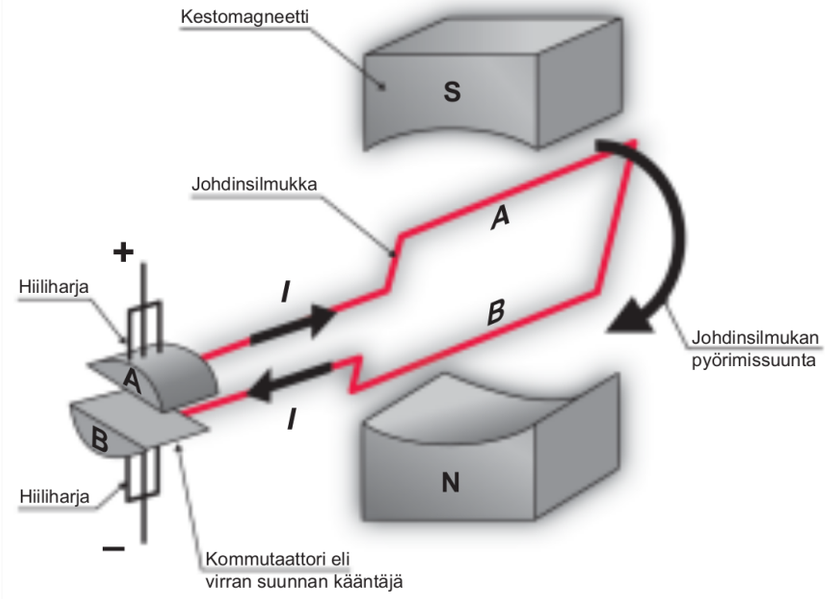
3. Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos johtimen virran suunta vaihtuu ja ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

Virrallinen johdinsilmukka ulkoisessa magneettikentässä

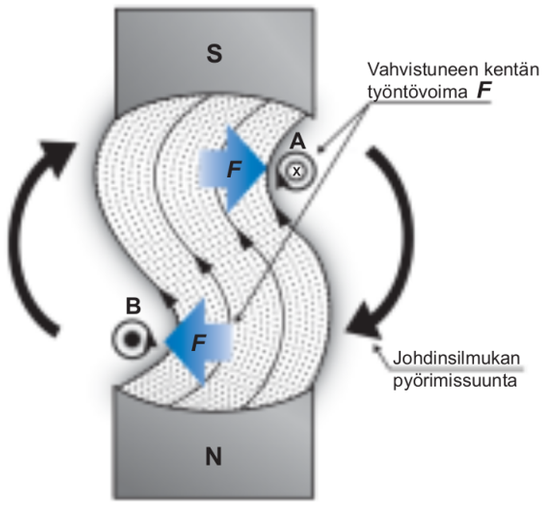
Asetetaan keskeltä laakeroitu virrallinen johdinsilmukka ulkoiseen magneettikenttään ja tarkastellaan, mihin suuntaan voimavaikutukset ovat. Silmukan päähän on kiinnitetty johtavasta materiaalista liuskat, joiden avulla virta saadaan kulkemaan johtimessa. Liuskoja nimitetään virran suunnan kääntäjäksi eli kommutaattoriksi. Virtalähteen plus- ja miinus-navat kytketään hiiliharjojen välityksellä kommutaattoriin.

Johdinsilmukka pyrkii pyörähtämään voimien vaikutuksesta. Liikkeen suunta riippuu silmukan virtojen suunnasta suhteessa ulkoiseen kenttään, kuten edellisessä kuvassa yhden johtimen tapauksessa.

Aluksi virta menee sähkölähteen plus-navasta hiiliharjan välityksellä kommutaattoriliuskaan A ja siitä johtimeen A. Virta palaa takaisin johtimen B kautta kommutaattoriliuskaan B ja siitä hiiliharjan välityksellä takaisin sähkölähteen miinus-napaan. Virran kulku johtimissa aikaansaa magnettikentät, jotka ulkoiseen kenttään nähden pyrkivät pyöräyttämään silmukkaa voiman *F* suuntaisesti.



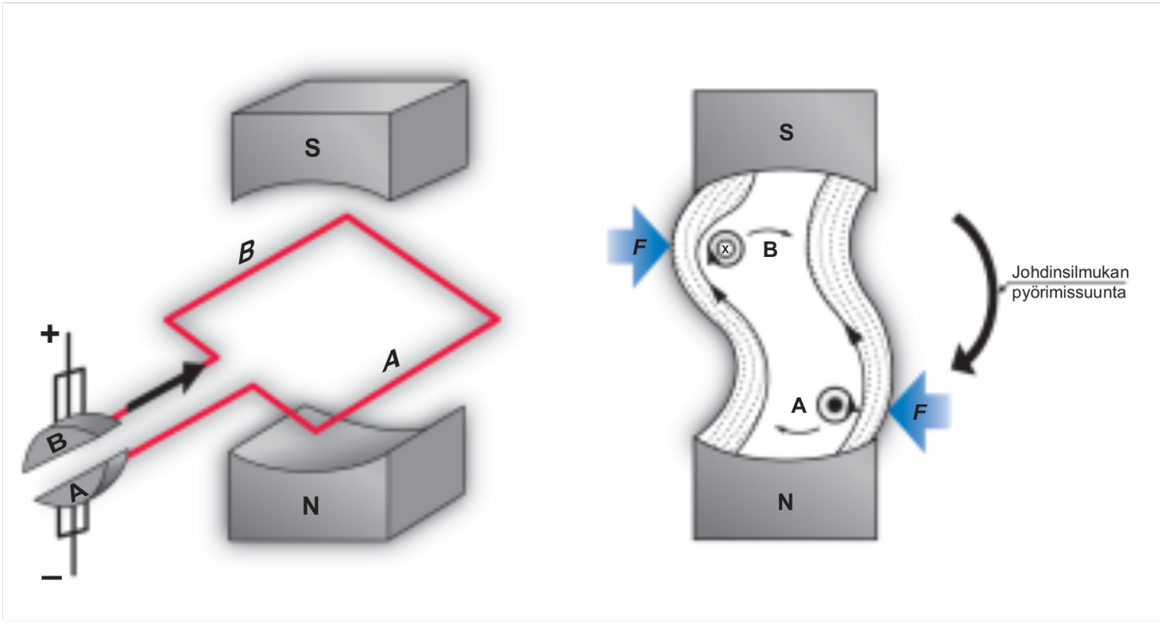
Virrallinen johdinsilmukka ulkoisessa magneettikentässä. Virta kulkee ensin johtimeen A.



Virrallinen johdinsilmukka ulkoisessa magneettikentässä, leikkauskuva

Jotta ymmärrämme, miksi silmukka jatkaa liikettä siihen pisteeseen, että kommutaattoriliuskat vaihtavat johtimen virtojen suunnat, on kuviteltava silmukalle tietty massa, joka vie pyörähtävän silmukan kommutaattoriliuskojen

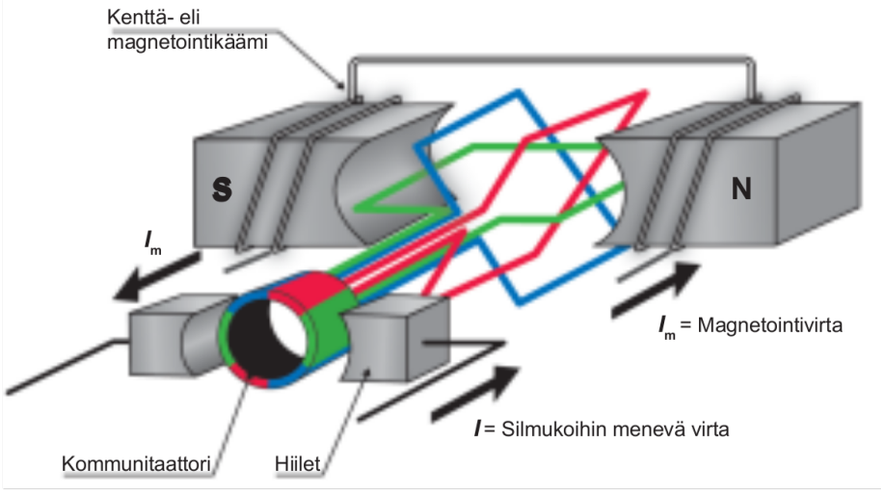
välissä olevan raon yli. Nyt virta menee sähkölähteen plus-navasta hiiliharjan välityksellä kommutaattoriliuskaan B ja siitä johtimeen B. Virta palaa takaisin johtimen A kautta kommutaattoriliuskaan A ja siitä hiiliharjan välityksellä takaisin sähkölähteen miinus-napaan. Tämän jälkeen alkutilanne toistuu ja silmukka jatkaa pyörimistä. Näin toimii tasasähkömoottori.



▲ Virrallinen johdinsilmukka ulkoisessa magneettikentässä. Virta kulkee ensin B-johtimeen.

▲ Virrallinen johdinsilmukka ulkoisessa magneettikentässä, leikkauskuva.

Käytännössä tasasähkömoottorissa on useita johdinsilmukoita, jotta pyöriminen olisi tasaista, ja ulkoinen kenttä tehdään magnetointikäämien avulla. Ammattikielessä puhutaan kenttäkäämeistä. Pienissä moottoreissa ulkoinen kenttä tehdään kestomagneettien avulla.



▲ Tasasähkömoottorin toimintaperiaate

TEHTÄVIÄ

1. Miksi tasasähkömoottori pyörii?

2. Miksi tarvitaan kommutaattoria eli virran suunnan kääntäjää?

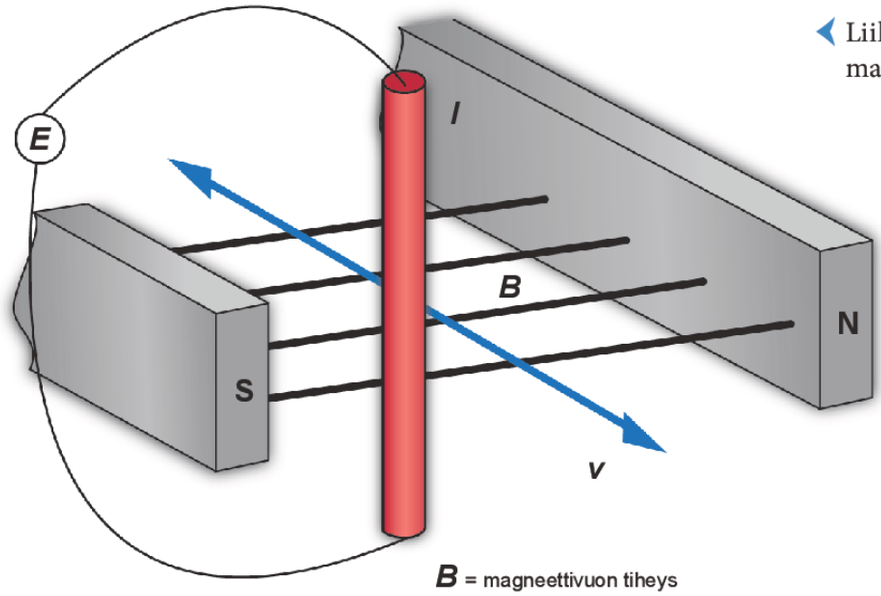
3. Miten saadaan moottori pyörimään kumpaankin suuntaan, vastapäivään ja myötäpäivään?

4. Miksi tasasähkömoottorissa tarvitaan ulkoinen magneettikenttä?

Sähkömagneettinen induktio

Liikkuva johdin magneettikentässä

Sähkömagneettinen induktio syntyy, kun magneettikentässä olevaa johdinta liikutetaan kohtisuoraan magneettivuoviivoja vastaan. Johtimen päiden väliltä voidaan mitata jännite. Syntynyttä jännitettä kutsutaan indusoituneeksi lähdejännitteeksi. Syntynyt lähdejännite noudattaa kaavaa $E = B \cdot l \cdot v$, jossa E = lähdejännite, B = magneettivuon tiheys, l = johtimen pituus magneettikentässä ja v = johtimen liikenopeus. Jos liikesuunta on ulkoisen magneettivuon suuntainen, johtimeen ei indusoidu jännitettä. Indusoitunut jännite on suurin, kun johdin leikkaa vuota 90°:n kulmassa.

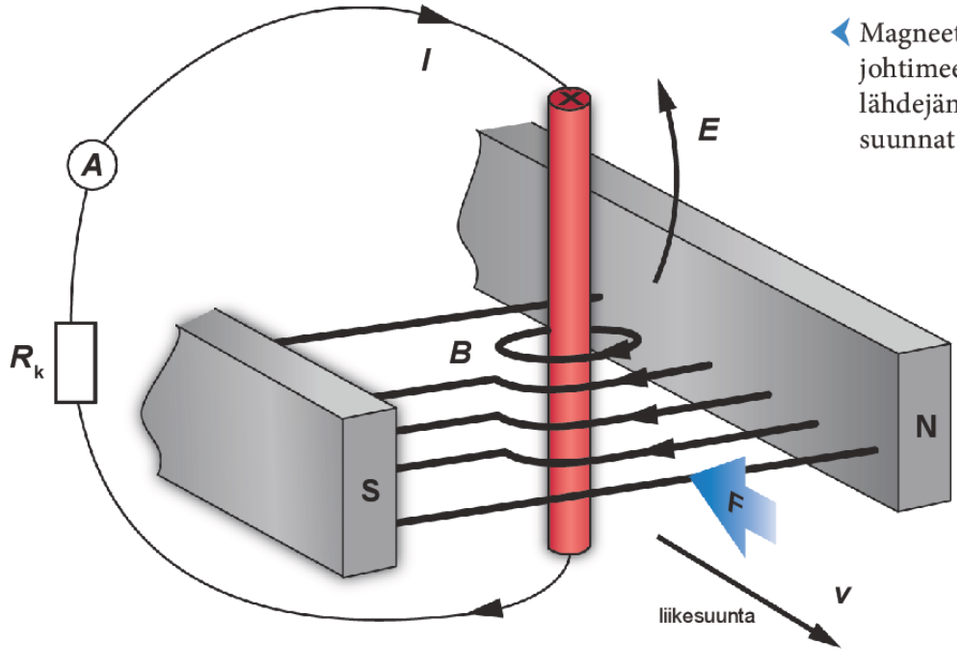


Liikkuva johdin magneettikentässä

Liikkuvaan, vuoviivoja leikkaavaan johtimeen indusoituu lähdejännite, $E = B \cdot l \cdot v$

B = magneettivuon tiheys
l = johtimen pituus magneettivuossa
v = johtimen nopeus kohtisuoraan voimaviivoja vastaan

Kun liikkuvan johtimen päät kytketään yhteen, syntyy suljettu virtapiiri ja siihen lähdejännitteen vaikutuksesta liikkeen **nopeuteen** verrannollinen **virta**. Virran (I) suuruus ja suunta ovat verrannollisia johtimen suuntaan (v) ja liikkeen nopeuteen magneettikentässä.



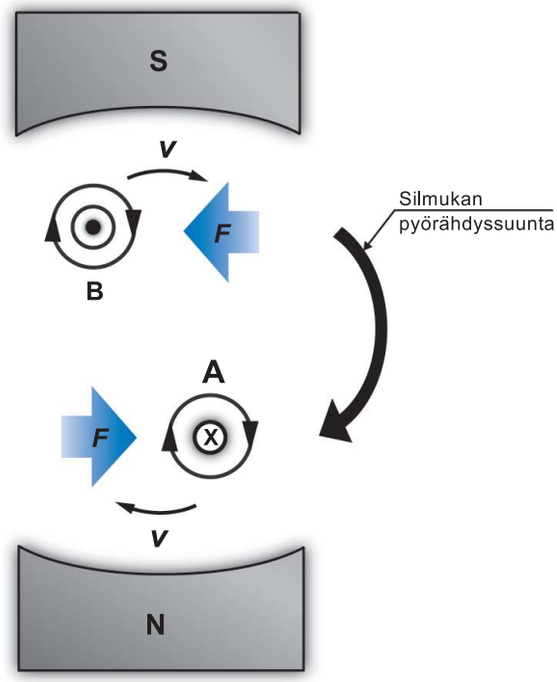
Magneettikentässä liikkuvaan johtimeen indusoituneen lähdejännitteen ja virran suunnat

Magneettikentässä liikkuvaan johtimeen indusoitunut jännite on suunnaltaan sellainen, että suljettuun piiriin syntyvä **virta** pyrkii vastustamaan johtimen liikettä kentässä. Johtimen ympärille muodostuva magneettikenttä yhdessä ulkoisen kentän kanssa aikaansaa vahvistuneen kentän johtimen liikesuuntaa (v) vastaan.

Näin voidaan todeta, että voima (F) on vastakkainen liikesuunnalle (v). Kun tiedetään voiman suunta, saadaan sen avulla selville virran kulkusuunta oikean käden peukalosäännön avulla. Virran kulkusuunnan perusteella on helppo määritellä syntyvän lähdejännitteen (E) napaisuudet.

Liikkuva johdinsilmukka magneettikentässä

Magneettikentässä pyörivä johdinsilmukka on perusta sähköä tuottavalle generaattorille. Yksinkertaisuuden vuoksi asiaa tarkastellaan yhden johdinsilmukan käyttäytymisellä magneettikentässä. Pyöräytetään johdinsilmukkaa myötäpäivään nopeudella (v), jolloin syntyy vastustava voima (F) sitä vastaan. Johtimen A virta kulkee tasosta pois päin ja johtimen B virta tulee katsojaa kohti. Lähdejännitteen (E) napaisuus on näin ollen kuvassa siten, että B = plusnapa ja A = miinus-napa.



Liikkuva johdinsilmukka magneettikentässä

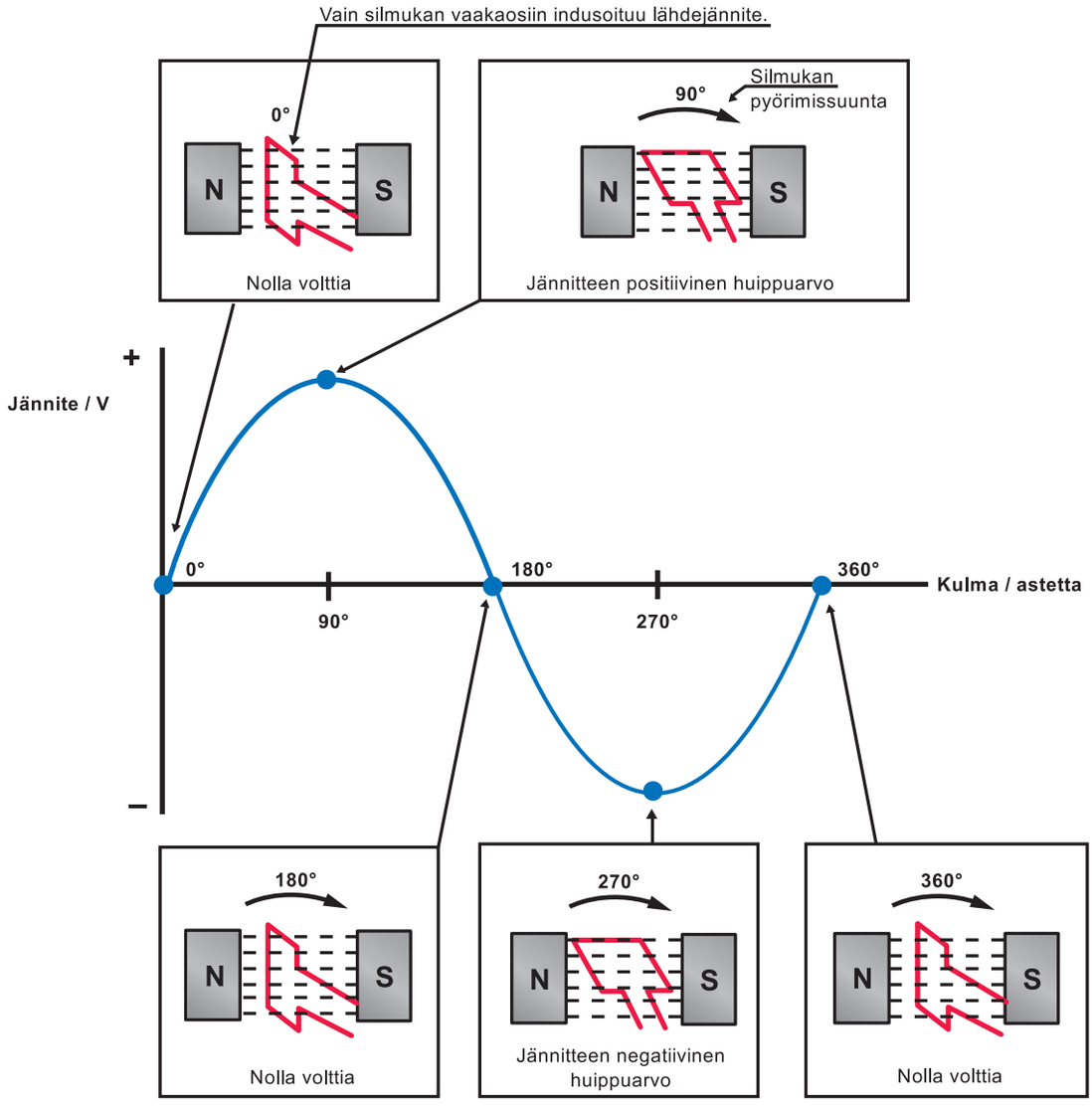
TEHTÄVIÄ

1. Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos silmukan pyörähdyssuunta vaihtuu? Miten käy virtojen A ja B?

2. Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

3. Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos silmukan pyörähdyssuunta vaihtuu ja ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

Johdinsilmukan pyöriessä magneettikentässä siihen indusoituu jännite, jonka suuruus riippuu silmukan asennosta ulkoiseen kenttään nähden. Kun johdinsilmukka pyörähtää täyden kierroksen (360°), se on aikaansaanut sinimuotoisen vaihtojännitteen yhden jakson. Pyörimisnopeus vastaa vaihtojännitteen taajuutta. Yleisen verkkojännitteen taajuus on 50 Hz eli 50 pyörähdystä sekunnissa.



▲ Johdinsilmukkaan indusoitunut lähdejännite silmukan eri kulmissa

6 Elektroniikka

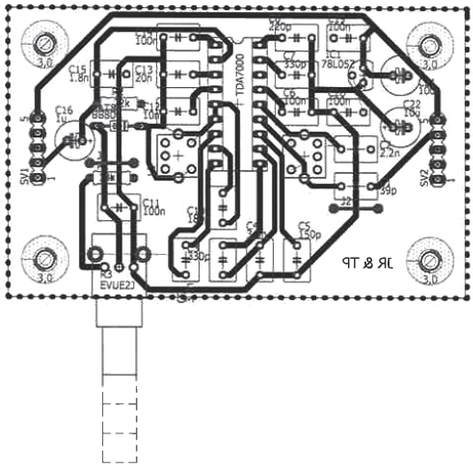
Tässä luvussa

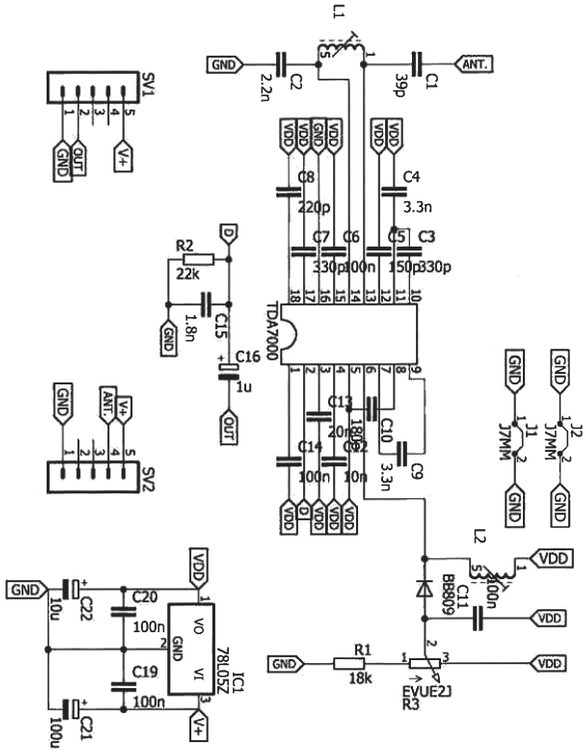
- **opit rakentamaan toimivan elektroniikkalaitteen, FM-radion**
- **tutustut moniin elektroniikan komponentteihin**
- **opit juottamista ja elektroniikan tavallisimpien mittalaitteiden, kuten yleismittarin, oskilloskoopin ja funktiogeneraattorin, käyttämistä.**

Projektina FM-radio

FM-viritin

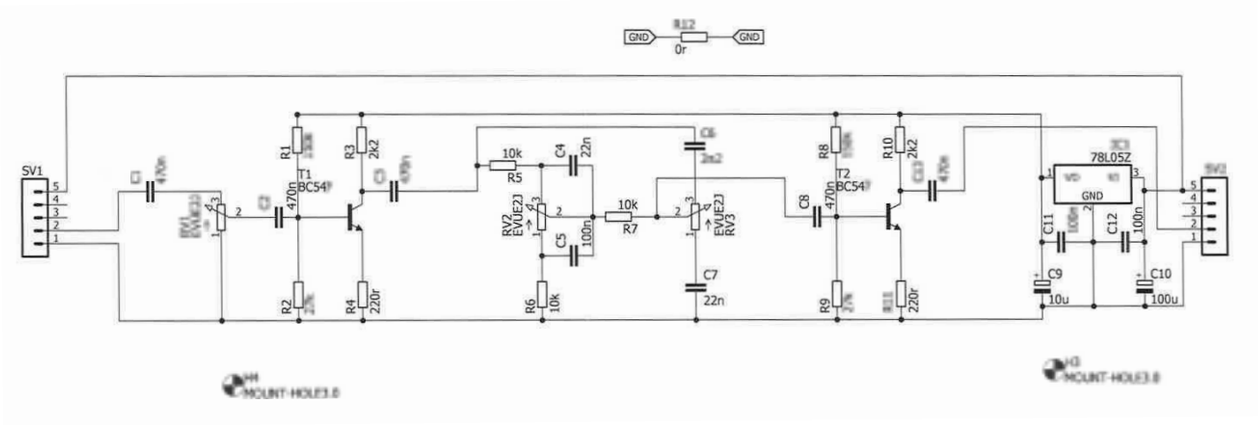
Radion osista FM-viritin vastaanottaa lähettimen radioaaltoja, siis sähkömagneettista säteilyä. Sen ydin on vanha IC-piiri TDA7000, joka on vieläkin hyvin saatavissa.

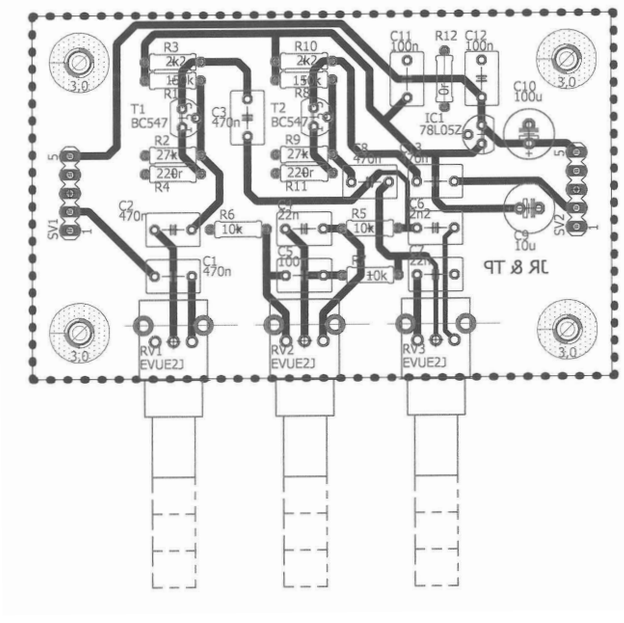




Äänenvoimakkuuden ja sävynsäädön yksikkö

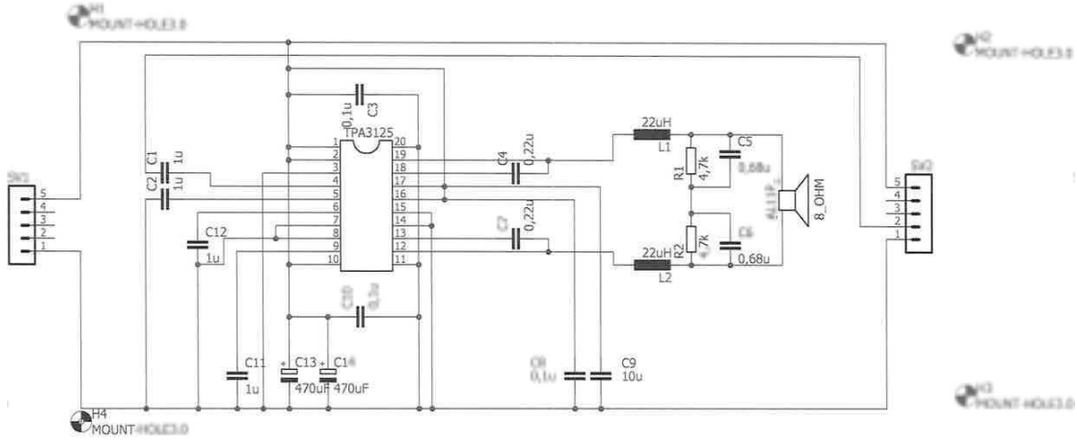
Säätöyksikkö on tehty perinteisillä erillisillä komponenteilla. Koska ihmisten kuulo- ja äänimieltymykset ovat erilaisia, yksikössä on basson ja diskantin säätimet.

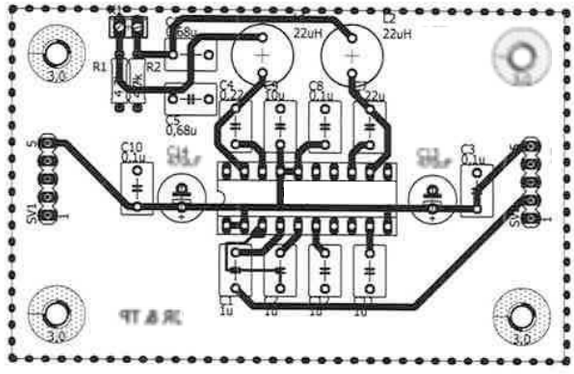




Digitaalinen vahvistin

Vahvistimen ytimenä on uutta teknologiaa edustava TPA3125 D-luokan vahvistinpiiri, jonka teho riittäisi myös vaativampaankin käyttöön. Sitä voisi käyttää esimerkiksi matkapuhelimen lisäkaiuttimen vahvistimena.





Oppimisympäristö ja opiskelu

Seuraavissa kuvissa on suomalaisen valmistajan (Kontram Oy) elektroniikkatyöpöytä, joka on varustettu elektroniikan rakenteluun ja huoltoon tarkoitetuilla laitteilla. Tässä ne käydään läpi vain yleisluonteisesti. Laitteiden käytön perinpohjaisempi osaaminen syntyy opiskelun myötä.

Aiheen opiskelu on vanhastaan aloitettu opettelemalla eri komponentit alkamalla passiivisista komponenteista ja etenemällä sitten aktiivisiin jne. Tässä kirjassa taas edetään tekemällä erilaisia kytkentöjä, mittaamalla ja testaamalla niitä. Samalla herää kysymyksiä siitä, miksi jokin osa toimii niin kuin toimii ja miksi jokin taas ei toimi. Toisinaan saattaa jopa tupsahtaa pieni savunpöllähdys.

Jotta laitteiden rakentaminen olisi oikeasti mahdollista, tulee myös osata juottaa. Juottaminen tarkoittaa elektroniikassa eri komponenttien liittämistä toisiinsa tai piirilevyyn juotostinan avulla.

▲ Elektroniikkatyöpöytä

▲ Suko-pistorasiat ja säädettävä galvaanisesti erotettu vaihtojännitelähde

▲ Oskilloskooppi

▲ Funktio-/signaali-generaattori

▲ Yleismittari

▲ Säädettävä tasajännitelähde

▲ Juotosasema ja pöydän virransyöttöyksikkö turvakytkimineen

Juottaminen

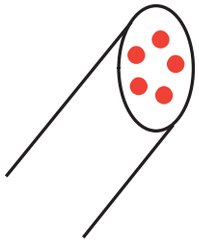
Juottamiseen tarvittavat välineet

Juotin tai mieluimmin **juotosasema**. Juotosasema tarkoittaa juotinta, missä kolvin (= juottimen tutumpi nimi) lämpötila on säädettävissä liitettävien komponenttien, käytettävän tinan ja ennen kaikkea juottajan ”juotoskäsialan mukaan”, käytännössä 300 ja 450 °C:n välillä. Lyijytön tina vaatii korkeamman lämpötilan.

Tinaimuri ja imusukka

Juotostina

Juotostina voi olla lyijytöntä tai jyijyllistä. Koska lyijy on myrkyllistä, EU:n määräykset rajoittavat lyijyllisen tinan käyttöä teollisesti valmistettavissa kulutuselektroniikan laitteissa. Lyijyllisellä tinalla on kuitenkin hieman helpompi harjoitella juottamista. Kolvin kärkikin kestää kauemmin, koska voidaan käyttää alhaisempaa juotoslämpötilaa.



Läpileikkaus juotostinasta

Juotoskaasuimuri. Koska juotoskaasut voivat olla myrkyllisiä, juotoskaasuimuri on hyvä olla paikalla ja käytössä.

Juotoskaasuimuri

soldering station	juotosasema
soldering iron	juotin
solder	juotostina
leadless solder	lyijytön juotostina
safety glases	suojalasit
side cutters	sivuleikkurit
pliers	pihdit

Suojalasit. Johtimia katkottaessa voi lennellä langanpätkiä ympäriinsä, joten suojalasien käyttö on turvallisuuden vuoksi tärkeää.

▲ Suojalasit

Elektroniikkatyöhön tarkoitetut **sivuleikkurit**, joissa on pienet ja terävät leikkuuterät. Huomaa, että näillä ei saa leikata muita materiaaleja kuin pehmeitä metalleja, esimerkiksi kuparia.

◀ Sivuleikkurit, kärkipihtejä ja kuorimapihdit

▲ Tinaimusukka

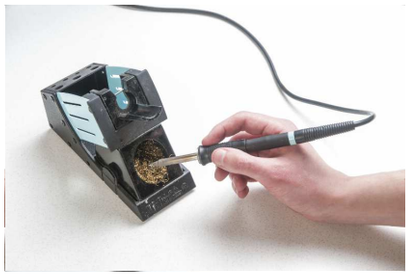
Tinaimusukkaa tarvitaan mahdollista juotosten korjaamista tai irrottamista varten.

Pienet kärkipihdit. Johtimien taivuttamista varten tarvitaan mieluiten pyöreäkärkiset pienet kärkipihdit.

Hyvän juotoksen tekemisen vaiheet

1. Laitetaan kolvi lämpiämään.
2. Puhdistetaan kärki kosteaan sieneen tai puhdistusvillaan.
3. Lisätään hieman tinaa kolvin kärkeen (lämpö johtuu liitettäviin kohteisiin paremmin).
4. Lämmitetään kohteita sopivasti (siten, että molemmat liitettävät osat lämpiävät).
5. Lisätään sopiva määrä tinaa kohteeseen.
6. Poistetaan tinalanka ja lämmitetään vielä hetki. Jälkilämmitys on melkeinpä tärkein vaihe hyvässä juotoksessa (valitettavasti asia varsin usein unohtuu harjoitellessa).

7. Annetaan jäähtyä rauhassa.
8. Tarkastetaan tulos (kiiltävä, kaunis liitos).
9. Testataan laite (kaikkien juotosten jälkeen).
10. Tehdään mahdollinen suojalakkaus.



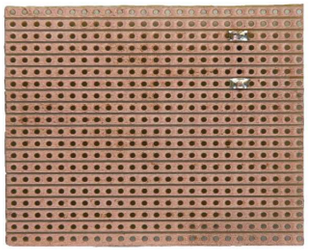
▲ Juottimen kärjen puhdistaminen

▲ Hieman tinaa kolvin kärkeen

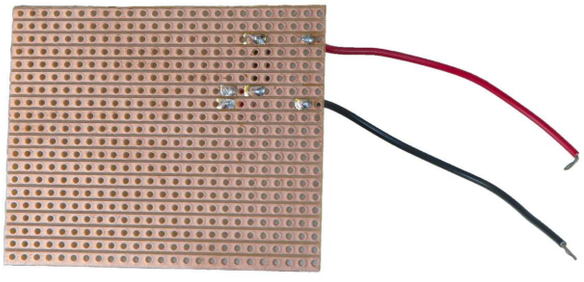
▲ Juottaminen ohjeen mukaan

▲ Ylimääräisten johtimen-pätkien katkominen

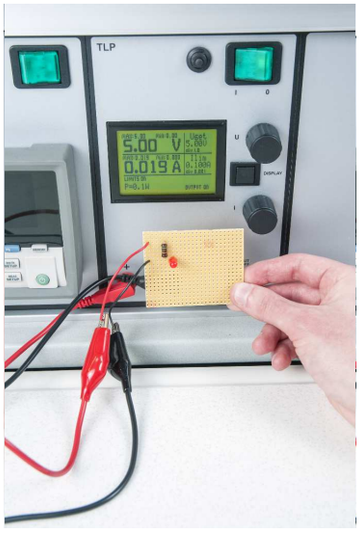
◀ Rauhallinen jäähtyminen



▲ Juotosjäljen ja laadun tarkastaminen



▲ Valmis työ juotospuolelta



Valmiin työn testaus ▶

Juotosharjoituksia läpijuotettavilla komponenteilla

1. Vastusten ja johtimien juottaminen koekytkentälevylle
2. Johtimien liittäminen toisiinsa ilman levyä
3. Vastukset sarjassa ja rinnan, sekakytkennät, laskeminen, rakentaminen ja mittaaminen, yleismittarin käyttö ohmimittarina, rakentaminen ilman koekytkentälevyä ja sen kanssa
4. Ledin etuvastuksen mitoitus ja kytkentöjen rakentaminen, yleismittarin käyttö jännitteen ja virran mittauksiin
5. 2-transistorinen ledivilkku koekytkentälevylle

Raportti tehdyistä harjoitustöistä

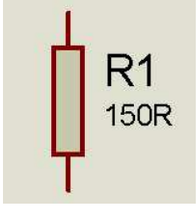
Kaikista harjoitustöistä tehdään vakioasettelun mukainen lyhyt raportti, työselostus, joka tallennetaan omaan kansioon. Raportin tekemisen harjoittelu on tärkeää, koska työpaikoilla vaaditaan usein tietyt asiat sisältävä tosite tehdystä työstä esimerkiksi palkkausta, asiakasta tai maahantuojaa varten.

Raportin sisältö:

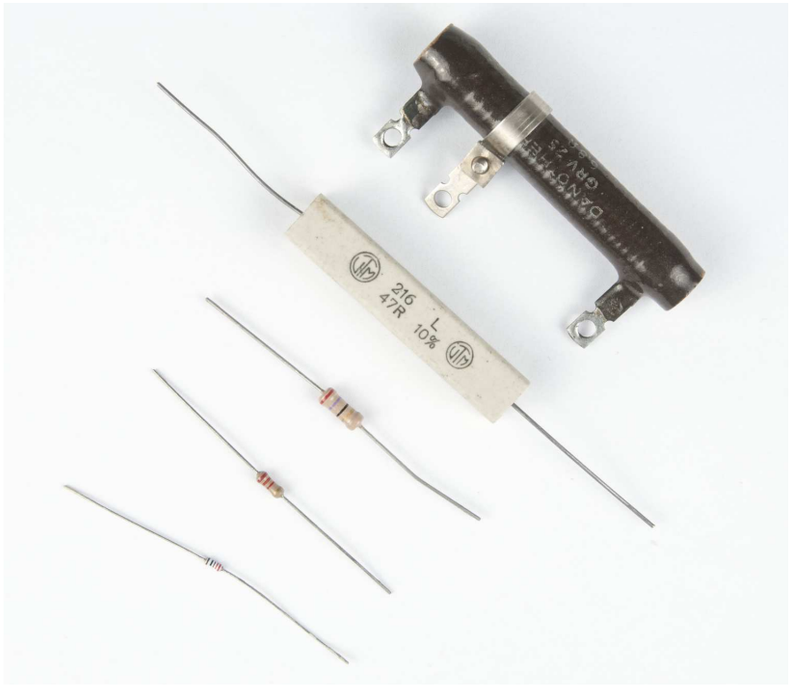
1. Mitä on tehty?
2. Käytetty aika
3. Tarvitut komponentit tai tarvikkeet
4. Kuva työstä
5. Hinta-arvio
6. Vian mahdollinen syy
7. Parannusehdotukset

Vastukset

Vastus on komponentti, joka vastustaa nimensä mukaisesti sähkövirran kulkua. Vastusta merkitään usein kirjaimella R, mikä johtuu sen englanninkielisestä nimestä resistor. Vastuksen yksikkö on ohmi ja tunnus Ω. Vastusten valmistusmateriaali on useimmiten metallioksidi tai hiili erilaisilla rungoilla.



Erilaisia vastuksia



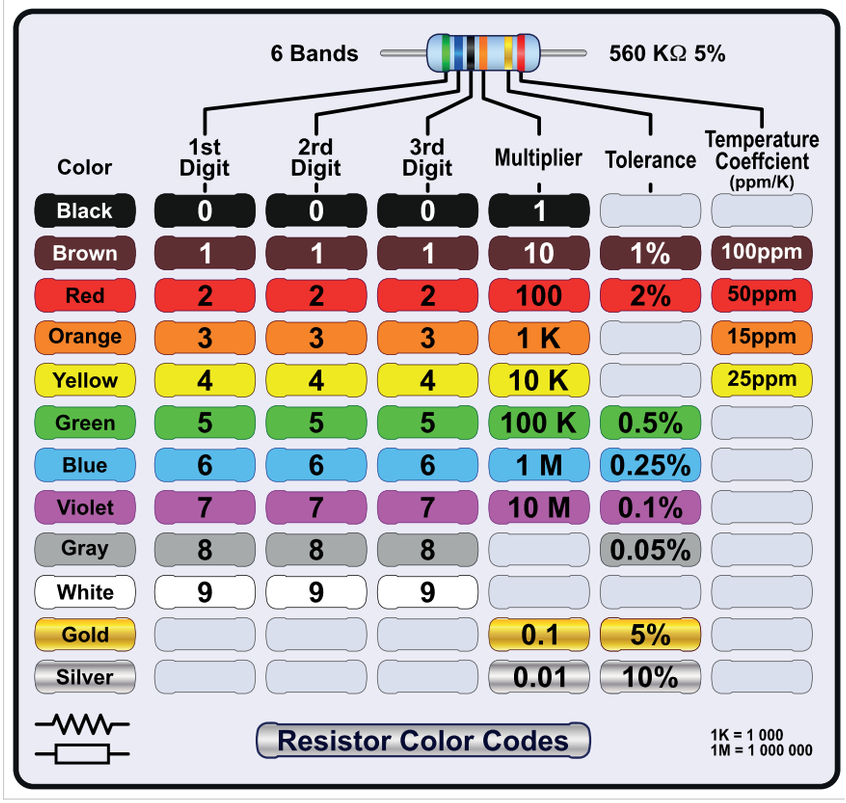
Vastusten arvot ja tarkkuus (toleranssi)

Koska kaikenarvoisia vastuksia on vaikea tehdä, on luotu järjestelmä siitä, mitä arvoja on olemassa. Yleisin lienee E12-sarja, jossa yhden dekadin sisään mahtuu 12 eriarvoista vastusta. Arvoja ovat esimerkiksi 100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 560, 680 ja 820 Ω, sen jälkeen taas 1000, 1200, 1500 jne. Arvo 1000 Ω merkitään yleensä 1k ja arvo 1000 000 Ω vastaavasti 1M.

Vastusten valmistusprosessin vuoksi aivan tarkkoja vastuksia on melkeinpä mahdoton tehdä kohtuukustannuksin. Vastukset jaetaan eri ryhmiin tarkkuutensa perusteella. Hiilikalvovastuksilla yleisin tarkkuus on +- 5 % nimellisarvosta ja metallikalvovastuksilla taas +- 1 % tai +- 2 %.

Vastusten merkinnät

Läpijuotettavissa vastuksissa arvo ja tarkkuus ilmoitetaan yleensä värirenkailla. Syynä on se, että vastus voi olla missä asennossa hyvänsä. Arvon voi kuitenkin lukea. Teho- ja pintaliitosvastuksissa arvo ilmoitetaan numeroina. Värirenkaita on neljä tai viisi, mahdollisesti useampikin. Ensimmäiset ilmoittavat vastuksen arvon ja viimeinen tarkkuuden.



Vastusten värirenkaat ja niiden merkitys

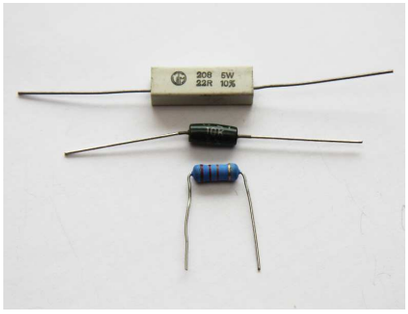
SMD-vastukset

SMD-vastukset ovat pintaliitoskomponentteja, joita käytetään esimerkiksi tietokoneissa, puhelimissa ja muissa pienissä laitteissa.

SMD-vastusten tehonkesto määräytyy pitkälti niiden koon mukaisesti (tarkemmat tiedot löytyvät datalehdestä):

SMD-vastus

KOKO (Tuuman sadasosina)	TEHONKESTO
0402	1 / 16 W
0603	1 / 10 W
0805	1 / 8 W
1206	1 / 8 W
1210	1 / 4 W
2010	1 / 2 W
2512	1 W



Tehovastuksia

Tehovastukset

Tehovastukset on tarkoitettu sellaisiin paikkoihin, joissa vastuksen läpi kulkeva virta on iso.

Arvomerkinnät

Ensimmäiset merkinnät ovat numeroita ja viimeinen on nollien määrä. Kirjainkerroin ilmaisee samalla desimaalipisteen paikan:

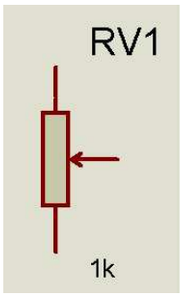
M = Mega = 1 000 000
k = kilo = 1 000
E tai R = 1

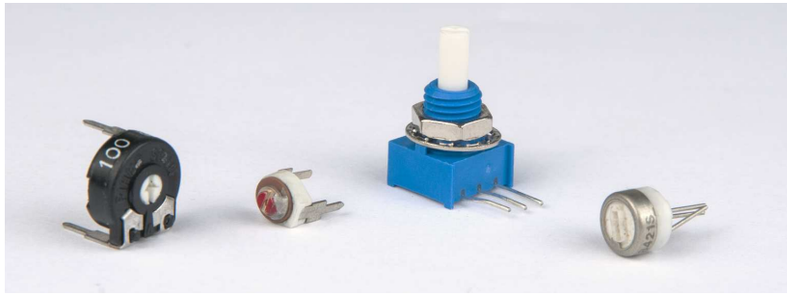
Esimerkkejä:

- 1 kΩ = 102 = 13 = 1k0
- 4,7 kΩ = 472 = 4k7
- 270 Ω = 271 = k27
- 27 Ω = 270 = 27R = 27E
- 1,5 MΩ = 155 = 1M5
- 150 kΩ = 154 = M15
- 1 Ω = 1R0 = 1E0
- 0,1 Ω = E10 = R10

Potentiometrit, trimmerit ja säädettävät vastukset

Potentiometrejä käytetään muun muassa äänenvoimakkuuden ja sävyn säätämiseen ja FM-virittimessä aseman valintaan. Trimmereitä vastaavasti käytetään kohteissa, joissa joudutaan joskus säätämään vastusten arvoa. Säädettäviä vastuksia taas tarvitaan joskus sopivan vastusarvon etsimiseen, ellei sitä pystytä tarkkaan laskemaan etukäteen ympäristöolojen vuoksi.

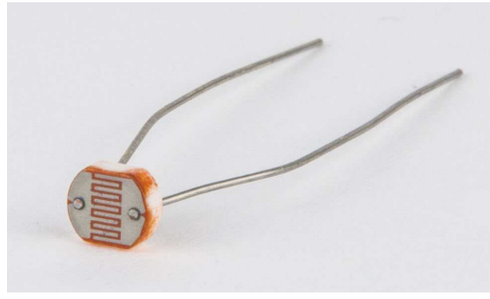




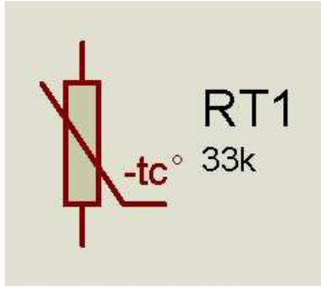
Erilaisia trimmereitä ja potentiometri

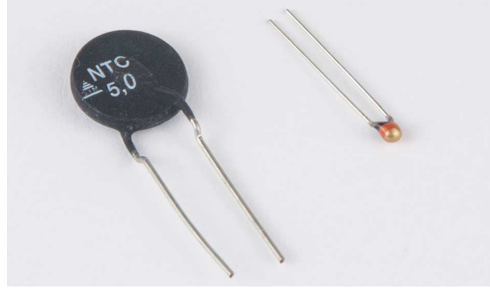
Ulkoisista olosuhteista riippuvat vastukset

Ulkoisista olosuhteista riippuvia vastuksia ovat muun muassa LDR-, NTC-, PTC- ja VDR-vastukset.

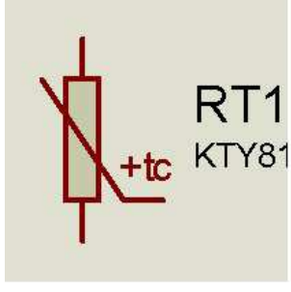


LDR (Light dependant resistor) on valon voimakkuudesta riippuva vastus. Sitä käytetään esimerkiksi hämärä-kytkimissä.





NTC (Negative temperature coefficient) on lämpötilasta riippuva vastus. Kun lämpötila nousee, vastusarvo pienenee. NTC-vastuksia käytetään termostaateissa eli lämpötilan säätimissä.



PTC (Positive temperature coefficient) -vastus toimii päinvastoin edelliseen verrattuna. Erikoissovelluksena on käyttö auton peruutuspeilien huurteenpoistoon.

VDR (Voltage dependant resistor) on jännitteestä riippuva vastus. Sitä käytetään esimerkiksi suojaamaan laitteita ylijännitteeltä.

Vastusten mittausharjoitus ja yleismittariin tutustuminen

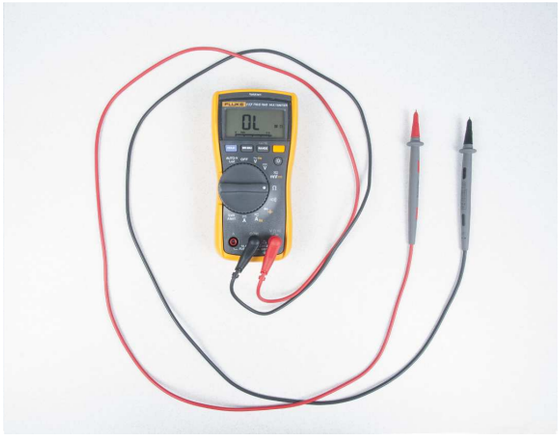
Otetaan kymmenen erilaista vastusta. Mukana voi olla myös tehovastuksia ja pintaliitosvastuksia. Seuraavaksi katsotaan väri- tai muut merkinnät. Excel-taulukkoon merkitään seuraavat asiat:

Värit	Nimellis-arvo	Tarkkuus	Maksimi-arvo	Minimiarvo	Mitattu arvo	Onko OK
RU VI PU KU	1500	5 %	1575	1425	1470	OK

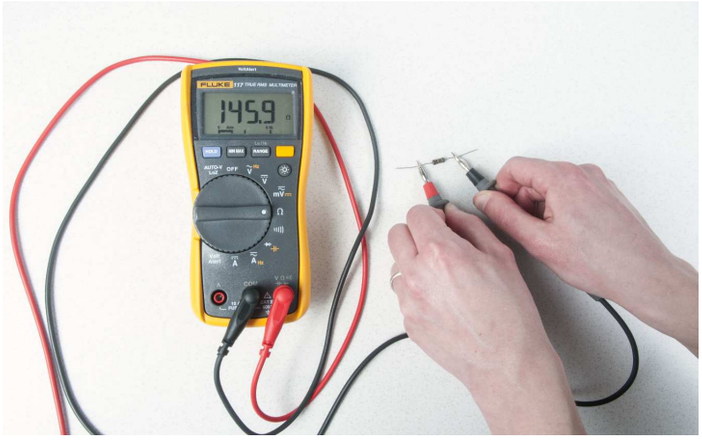
Taulukko kootaan kaikista valituista vastuksista.

Tutustutaan sen jälkeen yleismittariin, sen ominaisuuksiin ja rajoituksiin sekä etenkin turvallisuusasioihin.

1. Vastuksen mittaaminen. Laita yleismittari ohmialueelle. Huomaa merkki-renkaat sormille mittapäissä. Sormien iho ei missään vaiheessa saa koskettaa metallisia mittapään osia, koska se saattaa vaikuttaa mittaus-tuloksiin.



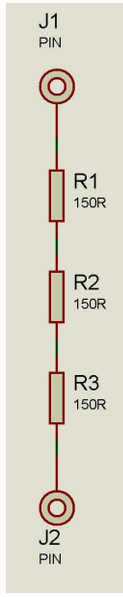
▲ Yleismittarin laitto ohmialueelle



▲ Vastuksen mittaaminen

2. Mitataan kaikki vastukset, merkitään tulokset taulukkoon ja katsotaan, ovatko kaikki vastukset ehjiä. Mitatut vastukset teipataan omalle kohdalleen taulukkoon. Taulukko liitetään omaan työkansioon ja arvioidaan opettajan kanssa yhdessä.
3. Tässä vaiheessa ei vielä tehdä muita mittauksia.

Vastusten sarjaankytkentä



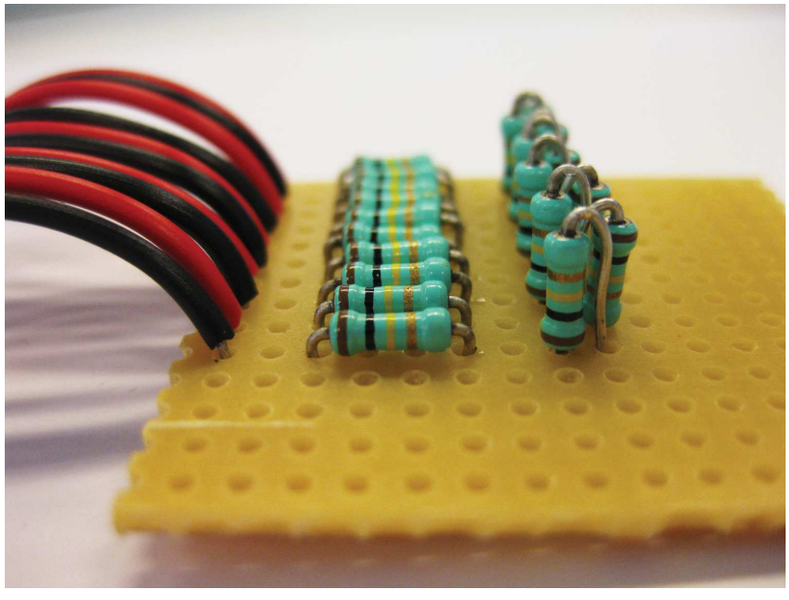
Joskus vastuksia täytyy kytkeä sarjaan, siis peräkkäin. Syynä voivat olla esimerkiksi sähköturvallisuusasiat. Pitää varmistaa, ettei kytkentä aiheuta vaaraa käyttäjälle, jos yksi vastus mahdollisesti vikaantuu menemällä oikosulkuun. Toinen syy voi olla riittävän jännitekestoisuuden saavuttaminen. Vastuksen jännitekestoisuus löytyy datalehdestä. Kolmas syy voi olla, ettei sopivaa vastusarvoa satu löytymään.

Vastuksen arvo on helppo laskea: $R_{AB} = R_2 + R_3 + R_3$. Lisää vastusten laskuja on luvussa Tasasähkötekniikka.

Juotosharjoitus:

Tehdään kytkentä koekytkentälevylle, jossa on kolme vastusta sarjassa. Mitataan jokaisen vastuksen arvo, lasketaan ne yhteen ja tarkastetaan, pitääkö kaava paikkansa.

1. Suunnitellaan kytkentä ”Veroboard”-levylle joko käsin millimetripaperille tai suunnittelua varten kehitetyllä CAD-ohjelmalla (Loch Master tms.). Huomaa, että vastusten kiinnitysjohtimien reikien väli on sopiva, ei liian suuri eikä liian pieni.
2. Juotetaan vastukset suunnitelman mukaan siten, että ne ovat hieman irti levystä. Paperin paksuus riittää.



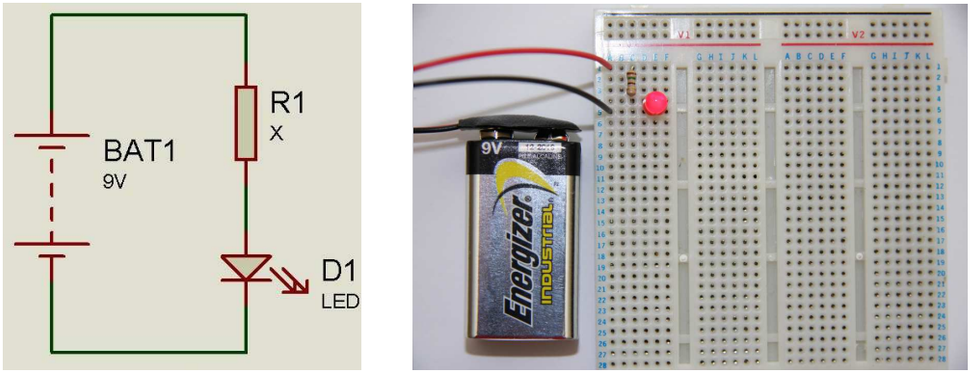
Vastukset verolevyllä

Vastusten rinnankytkentä

Juotosharjoitus:

Tehdään kytkentä koekytkentälevylle, jossa on kolme vastusta rinnan. Mitataan jokaisen vastuksen arvo ennen juottamista, lasketaan tasasähkötekniikan kaavan mukaan ja tarkastetaan, pitääkö tulos paikkansa. Suunnitellaan kytkentä ”Veroboard”-levylle joko käsin millimetripaperille tai suunnittelua varten kehitetyllä CAD-ohjelmalla (Loch Master tms.).

Ledin etuvastuksen mitoitus



▲ Toimiva ledkytkentä

Rakennetaan ensimmäinen toimiva kytkentä:
Led (Light emitting diode) on puolijohde, joka tuottaa valoa, kun käyttöolosuhteet ovat sopivat. Sen yli pitää vaikuttaa tietty jännite (kynnysjännite) ja sen läpi kulkeva sopiva virta. Harjoituksissamme käytettyjen ledien kynnysjännite on värin mukaan 1,8–4,5 V: punainen, vihreä ja keltainen noin 2 V, valkoinen ja sininen noin 4 V. Pienissä merkkivaloledeissä sopiva virta on noin 20 mA (0,020 A).

Ledin etuvastuksen laskeminen

Edellä olevassa kytkennässä pariston (BAT1) jännite on 9 V ja ledin (D1) yli vaikuttava jännite on 2 V, joten vastuksen (R1) yli olevaksi jännitteeksi jää 7 V. Seuraavaksi lasketaan Ohmin lain ja sähkömiehen kolmion avulla vastuksen suuruus ja tarvittava tehonkesto watteina:

$R = U : I$
$R = 7\ \text{V} : 0{,}020\ \text{A} = 350\ \text{ohm}$

Aiemmin mainitussa E12-sarjassa ei ole kyseistä arvoa, joten valitaan seuraava suurempi, jotta virta-arvoa 20 mA ei ylitetä, siis 390 ohm.

Tarkastetaan vielä tällä vastusarvolla ledin virta:

$I = U : R$
$I = 7\ \text{V} : 390\ \text{ohm} = 0{,}018\text{A}$
ja vielä vastuksen tehonkestoisuus
$P = U \cdot I$
$P = 7\ \text{V} \cdot 0{,}018\ \text{A} = 0{,}126\ \text{W}$

Käyttämämme vastukset ovat 0,6 W:n tehoisia, joten ne kestävät mainiosti.

Rakentaminen:
Taas käytetään koekytkentälevyä. Ensin suunnitellaan, tarkastetaan ja sitten juotetaan komponentit hyvän juotoksen ohjeen mukaisesti.

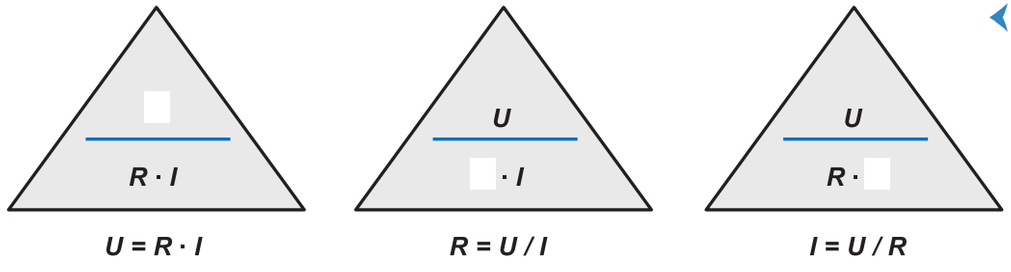
Harjoituksia:

1. Suunnittele led-kytkentä, jossa on kaksi lediä. Käyttöjännite on 5 volttia, ja toinen led on punainen ja toinen sininen (huomaa värit). Suunniteltu virta kummallekin ledille on 20 mA.
2. Piirrä piirikaavio.
3. Etsi datalehdistä tai internetistä kummankin ledin kynnysjännite.
   Laske löytämiesi tietojen mukaan ledien etuvastukset.
4. Rakenna kytkentä
5. Mittaa kytkennän kokonaisvirta ja ledien osavirrat.

Muistin virkistämiseksi Ohmin laki:
Vastuksen arvo on yksi ohmi, jos sen läpi kulkeva virta yhden voltin jännitteellä on yksi ampeeri.

- Jännitteen yksikkö on voltti, V, ja tunnus *U*.
- Virran yksikkö on ampeeri, A, ja tunnus *I*.

Kun tiedät kaksi, kolmas on helppo laskea. Peitä vain tuntemattoman, ja laskukaava näkyy heti.



Muistikolmiosta voidaan ratkaista suure peittämällä se.

Kondensaattorit

Kondensaattoreita on erityyppisiä eri käyttötarkoituksia varten:

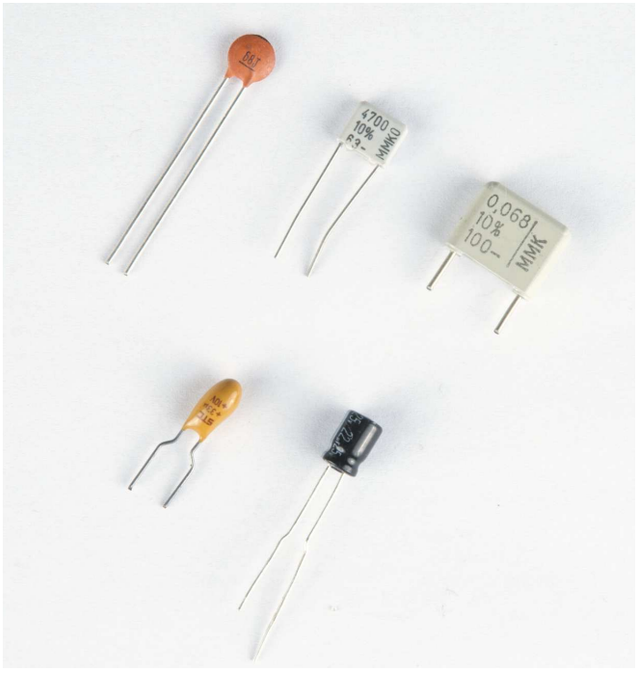
- muovieristeisiä kondensaattoreita
- keraamisia kondensaattoreita
- elektrolyyttikondensaattoreita
- säädettäviä kondensaattoreita.

Muovieristeisiä kondensaattoreita ovat polyesterikondensaattorit, polykarbonaattikondensaattorit ja polystyreenikondensaattorit. Polyesterikondensaattorit ovat yleiskäyttöisiä, ja polykarbonaattikondensaattorit sopivat esimerkiksi kytkentäkondensaattoreiksi. Polystyreenikondensaattoreita taas käytetään vaativiin paikkoihin.

Keraamiset kondensaattorit ovat yleensä rakenteeltaan nappimallisia. Niitä käytetään suurtaajuusalueilla.

Elektrolyyttikondensaattoreita käytetään pääasiassa suodatuskondensaattoreina esimerkiksi verkkolaitteissa ja muissa vastaavissa paikoissa. Elektrolyyttikondensaattori on polarisoitu komponentti, mikä tarkoittaa, että se pitää kytkeä oikein päin. Napaisuus on merkitty selkeästi komponenttiin. Lisäksi on huomioitava jännitekestoisuus. Väärin käytettäessä elektrolyyttikondensaattorit voivat aiheuttaa vahinkoa.

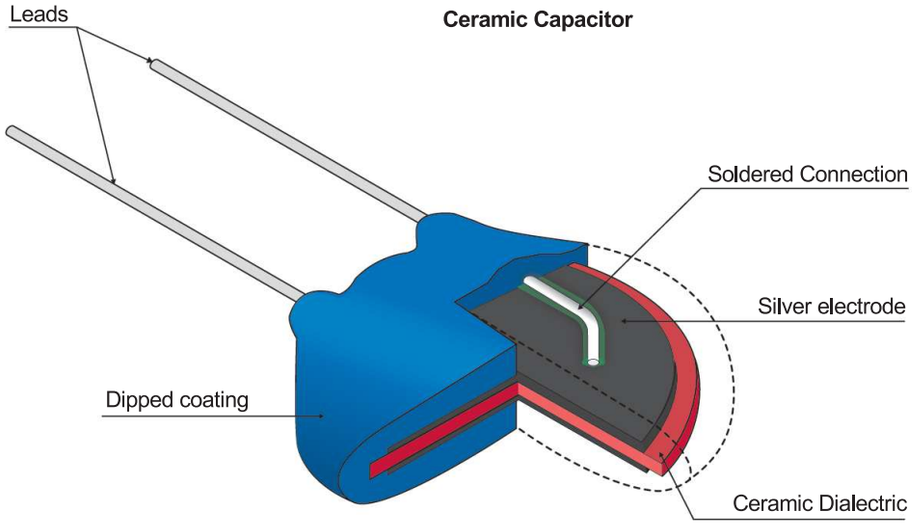
Säädettäviä kondensaattoreita käytetään suurtaajuuspiireissä.



Kondensaattoreita

Kondensaattorin rakenne

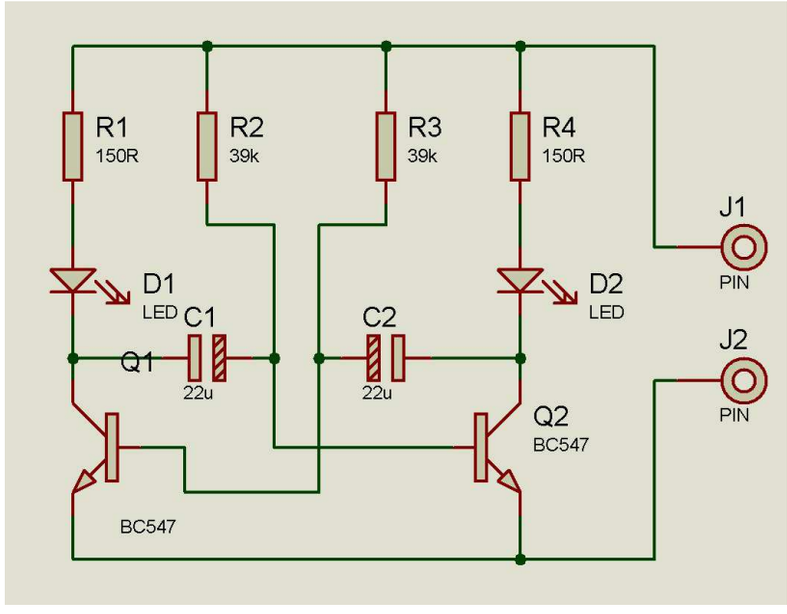
Kondensaattori muodostuu kahdesta toisistaan eristetystä metallilevystä. Rakenteesta on lisätietoa internetissä.



Kondensaattorin rakenne

Piirilevyn suunnittelu Cad-ohjelmalla

Alla olevassa piirikaaviossa on kahden ledin vilkkukytkentä (Multivibrator).



Uusia komponentteja ovat elektrolyyttikondensaattorit C1 ja C2 sekä transistorit Q1 ja Q2. Piirikaavion ja sen eri komponenttien toimintaa käydään läpi rakentelun aikana.

Suunnittelu

Uuden levyn suunnittelu aloitetaan luomalla uusi projekti ohjelmaan. Periaatteena on yleensä se, että piirikaavio suunnitellaan siten, että signaali kulkee vasemmalta oikealle. Esimerkiksi äänensävyn säätöyksikössä, esivahvistimessa, signaali tulee sisään vasemmalta ja lähtee päätevahvistimeen oikealta. Jännitesyöttö, regulaattori tai liittimet, sijoitetaan yleensä oikeaan laitaan. Sen jälkeen aletaan piirtää piirikaaviota. Kaikki kaaviossa olevat komponentit kannattaa valita komponenttikirjastosta ensiksi työpöydälle. Komponentteja valitessa pitää muistaa valita myös oikeassa kotelossa oleva komponentti, jotta se myös sopii tulevalle piirilevylle. Kirjaston käyttö vaatii paljon totuttelua ja harjoittelua.

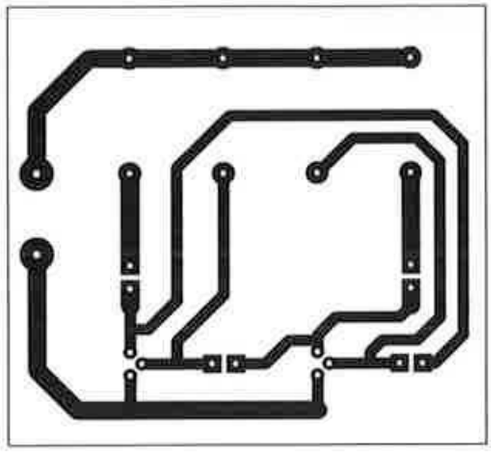
Kun kaikki komponentit on löydetty, niitä aletaan siirtää niitä oikeisiin paikkoihin piirikaaviossa. Sen jälkeen yhdistetään osat toisiinsa varmistamalla, että kaikki johdotukset menevät oikein. Sitten tehdään vielä kerran tarkistus ennen kuin siirrytään tekemään piirilevyä.

Kun siirrytään projektin piirilevyn suunnitteluun, työpöydän vieressä pitäisi olla valmiina kaikki kytkennässä olevat komponentit. Sen jälkeen ne vain siirrellään oikeille paikoille levyssä. Komponentit sijoitellaan komponenttipuolelle, jolloin kuparivedot jäävät ikään kuin levyn takapuolelle.

Jos levyt valmistetaan syövyttämällä, kuparivedot kannattaa tehdä mahdollisimman leveinä. Ohjelmissa on yleensä myös automaattisesti toimiva komponenttien sijoitus, autorouter. Sitäkin kannattaa kokeilla.

Käytännössä asia ei kuitenkaan ole lainkaan näin yksinkertainen. Yhteenkin ohjelmistoon on olemassa yli 200-sivuinen ohjekirja. Jotta cad-ohjelmistoista saa kaikki irti, kannattaa hankkia valmistajan käsikirja tai tietoa ja ohjeita internetistä.

Esimerkki vilkun piirilevyksi



Piirilevyn valmistaminen syövyttämällä

Piirilevyt valmistetaan teollisuudessakin syövyttämällä. On siis hyvä tietää siihen liittyvät käytännön toimet myös harrastelevyjä valmistettaessa. Syövyttämiseen tarvittavia laitteita ovat UV-valotuslaite, kehitysallas, syövytyslaite, vetokaappi ja huuhteluallas.

Tarvittavat aineet

Valmiin valonherkän piirilevyaihion kehittämiseen käytetään 0,9-prosenttista natriumhydroksidiliuosta ja syövytykseen natriumpersulfaattiliuosta. Molemmat aineet ovat vaarallisia, joten ennen käyttöä pitää tutustua käyttöturvallisuustiedotteisiin ja toimia niiden mukaisesti. Luonnollisesti myös henkilökohtaisia suojaimia (takki, hansikkaat, suojalasit) tulee käyttää. Syövytyslaitteen tulee olla vetokaapissa, etteivät mahdolliset kaasut pääse hengitysilmaan.

▲ Syövyttävän aineen varoitusmerkki

Työn kulku

1. Piirilevystä poistetaan valonherkkää pintaa suojaava muovikalvo juuri ennen valotusta.
2. Tulostettu kalvo asetetaan levyn päälle oikein päin. Levyssä oleva nimi ja päivämäärä auttavat tässä. Kalvo teipataan levyyn kiinni pienillä paloilla, ettei kalvo pääse liikkumaan.
3. Levy asetetaan valotuslaitteeseen siten, että kalvopuoli tulee valon kohdetta päin.
4. Valotetaan noin kolme minuuttia. Aika riippuu hieman levyn valoherkästä pinnoitteesta.
5. Kehitetään levyä NaOH-liuoksessa altaassa koko ajan liikuttaen ja katsellen levyn kehittymistä. Kun levystä ei enää lähde lakkarämmäleitä, se huuhdellaan hyvin juoksevassa vedessä.
6. Levy laitetaan syövytyslaitteeseen kannen alle noin 20 minuutiksi. Syöpymisen vaihetta kannattaa seurata silloin tällöin, ettei levy syövy liikaa.
7. Huuhdellaan ja kuivataan levy.
8. Tarkastetaan syövytystulos.
9. Jos tulos on ykkösluokkaa, porataan sopivat reiät komponentteja varten. Muista suojalasit!

10. Syövytyslakan poistaminen pitää myös muistaa, koska muuten komponenttien juottaminen ei onnistu.
11. Seuraavaksi juotetaan komponentit oikeille paikoilleen ja tarkastetaan juotosjälki ja laitteen toiminta.
12. Jos laitetta käytetään kosteissa tiloissa, vaikkapa mopossa tai autossa, levy kannattaa vielä suojalakata.

TEHTÄVIÄ

1. Miksi levyn huuhteleminen on erittäin tärkeätä valmistuksen eri vaiheiden välillä?

2. Minkä takia levy on hyvä suojalakata?

Toinen levynvalmistustapa

Etenkin protolevyjen valmistuksessa tai pienissä sarjoissa kannattaa mahdollisuuksien mukaan käyttää piirilevyjyrsintä (Circuit Board Plotter).

Jyrsimen hyviä puolia ovat esimerkiksi tarkkuus ja se, ettei tarvitse käyttää vaarallisia aineita. Työn jälki on myös hyvä, kunhan jyrsimen asetukset ovat kohdallaan. Pölynpoistosta huolehtii jyrsimen oma imuri.

Diodit

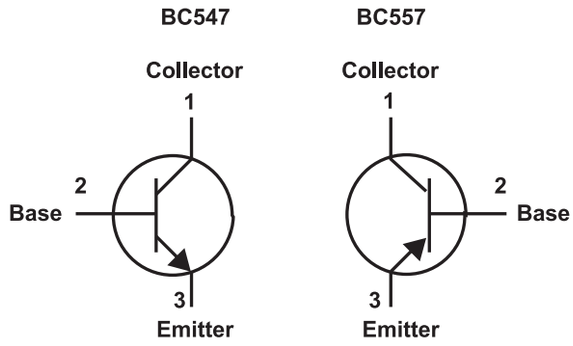
Diodi on puolijohdekomponentti, joka johtaa virtaa vain toiseen suuntaan. Tämän vuoksi diodin yleisin käyttökohde on vaihtojännitteen tasasuuntaus.

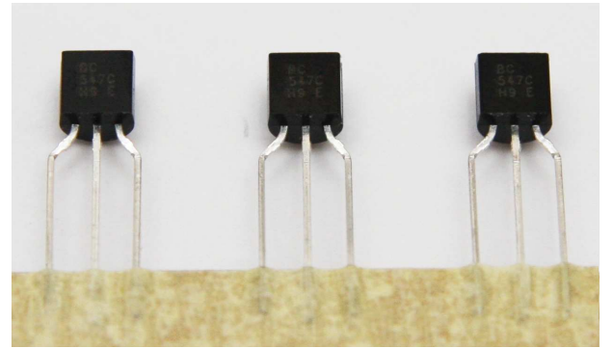
▼ Diodeja

Lisäksi on paljon erilaisia muihin tarpeisiin valmistettuja diodeja:

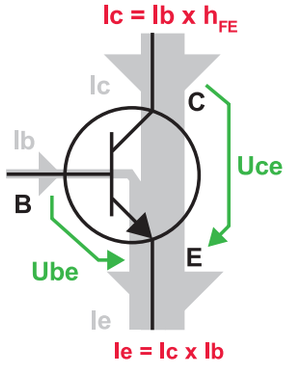
- zenerdiodi jännitteen vakavointiin
- kapasitanssidiodi esimerkiksi radion kanavan viritykseen
- led, valoa hohtava diodi
- fotodiodi, joka reagoi valon voimakkuuteen esimerkiksi hämäräkytkimissä
- tyristorit ja triacit valonsäätimiin ja moottoreiden ohjaukseen.

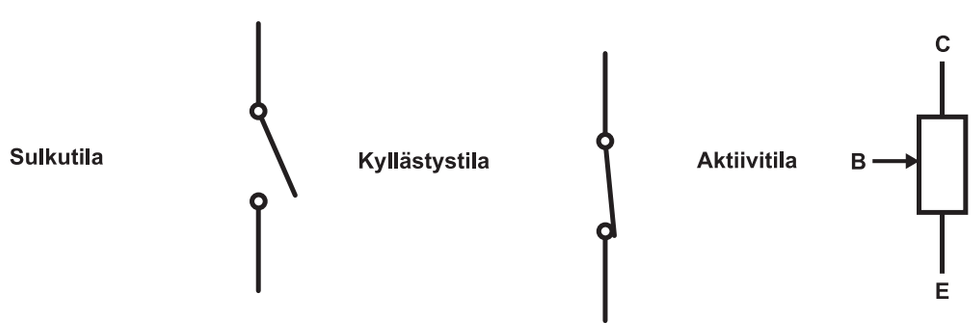
Transistorit





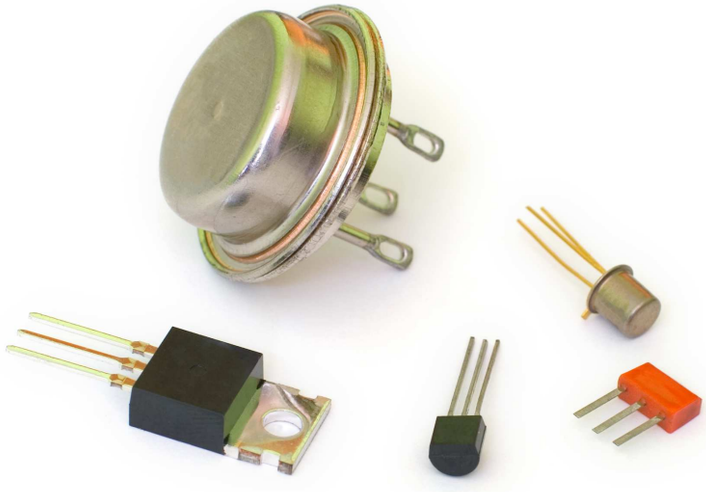
▲ Esivahvistimessamme käytetään yleistä NPN-transistorityyppiä BC547.



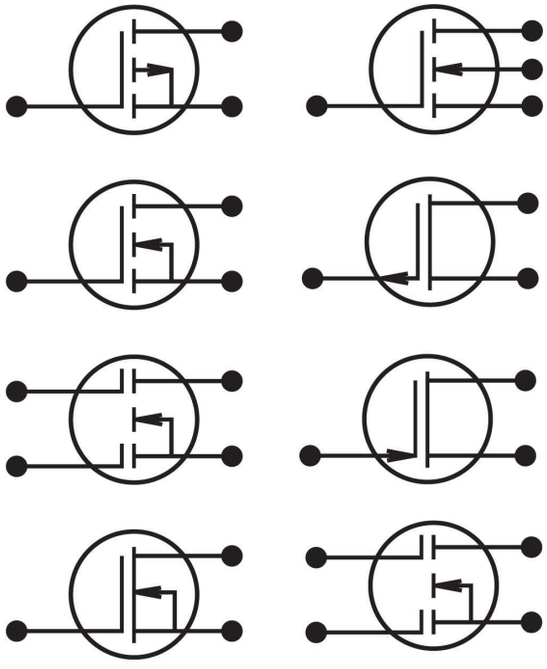


Yksinkertaistetusti voidaan ajatella, että transistorin läpi kollektorilta emitterille kulkee ”päävirta” (leveämpi nuoli kuvassa) Sen suuruutta voidaan säätää kantavirralla. Voidaan myös ajatella, että transistorilla on kolme tilaa – auki, kiinni tai jokin siltä väliltä – hienommin sanottuna sulkutila, kyllästystila ja aktiivitila. Datalehdissä on tarkempaa tietoa transistorin ominaisuuksista ja rajoituksista.

◀ Muita transistoreita



Kanavatransistori, FET



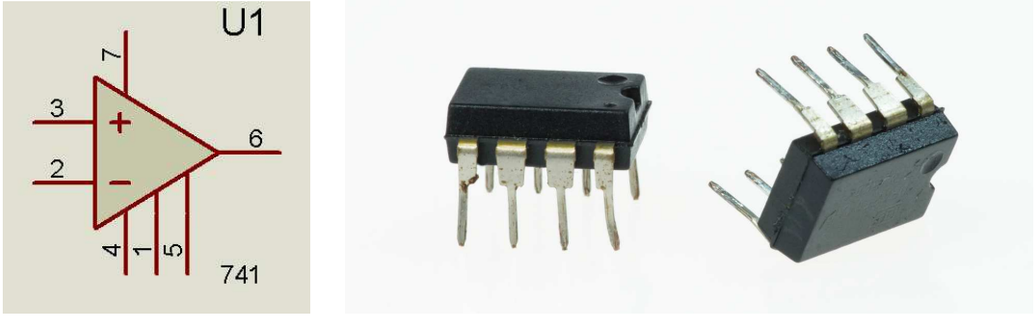
Erilaisia FET-transistoreita

Kytkintransistoreina käytetään ainoastaan avaustyyppisiä N-tyypin ja P-tyypin MOSFET-transistoreita. Niitä ohjataan jännitteellä, jonka tulee tyypistä riippuvasti olla 3–10 V täysin johtavaksi saamista varten.

FET-transistoreiden yleisiä ominaisuuksia:

- nopeat tilanvaihdot
- pieni ohjausenergian tarve

Operaatiovahvistin



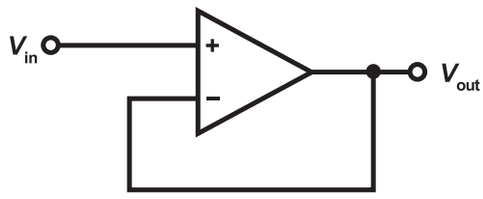
Operaatiovahvistin

Operaatiovahvistin on jo nimensäkin mukaan vahvistin. Siinä on ulostulo ja kaksi sisäänmenoa: invertoiva eli kääntävä, jonka merkintä on (-), ja ei-invertoiva, siis ei-kääntävä, jonka merkintä on (+). Lisäksi se tarvitsee toimiakseen käyttöjännitteen. Usein käytetään kaksipuolista jännitelähdettä.

Operaatiovahvistimen vahvistus on ilman takaisinkytkentää iso, käytännössä 100 000 tai jopa yli. Kytkennöissä käytetään aina takaisinkytkentää, jotta saadaan tilanteeseen sopiva vahvistin.

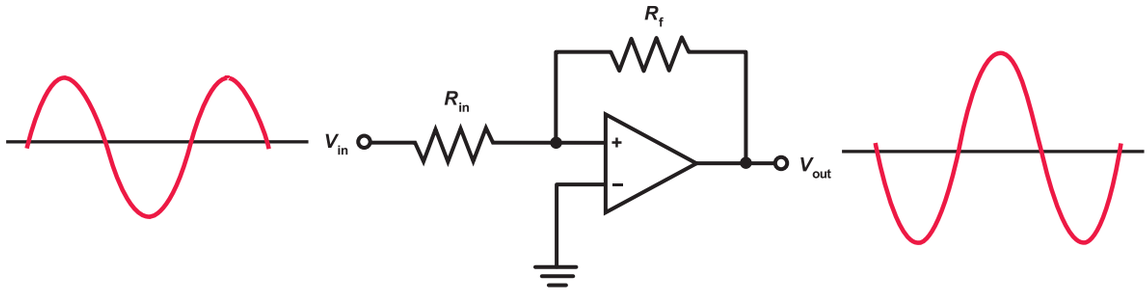
Peruskytkennät

1. Jänniteseuraaja



Tässä käytetään negatiivista takaisinkytkentää. Kytkennän jännitevahvistus on 1. Kytkentää käytetään erottamaan suuri-impedanssista signaalilähdettä pieni-impedanssiseen kuormaan.

2. Invertoiva eli kääntävä vahvistin

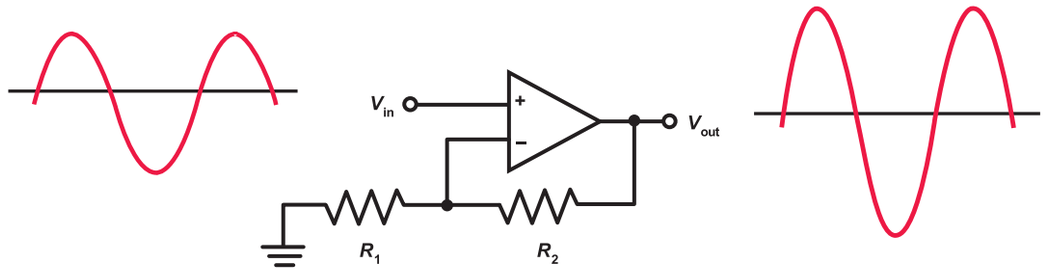


Tässä käytetään negatiivista takaisinkytkentää vastuksella R_f. Kytkennän vahvistus lasketaan kaavalla

$$V_{out} = -\frac{R_t}{R_{in}} V_{in}$$

(–)-merkki kaavan edessä tarkoittaa, että vahvistin on kääntävä. Se näkyy myös sisään menevästä ja ulos tulevasta signaalista.

3. Kolmas peruskytkentä on ei-invertoiva eli ei-kääntävä vahvistin.



Takaisinkytkentä tehdään vastuksella R2.

Vahvistus lasketaan kaavalla

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_t}\right) V_{in}$$

Kuvasta näkyy, että signaali ei käänny.

Esivahvistimen rakentaminen

Luvun alussa oli maininta tekemällä oppimisesta. Nyt rakennetaan etusivun kuvan radio. Aloitetaan esivahvistimesta.

Esivahvistin rakennetaan erilliskomponenteista valmiille piirilevylle tarkoin piirikaavion ja osasijoittelun mukaan. Vastukset tulevat värimerkintöjen mukaisesti samaan suuntaan. Muut komponentit pitää asentaa oikein päin.

Tasajännitelähde

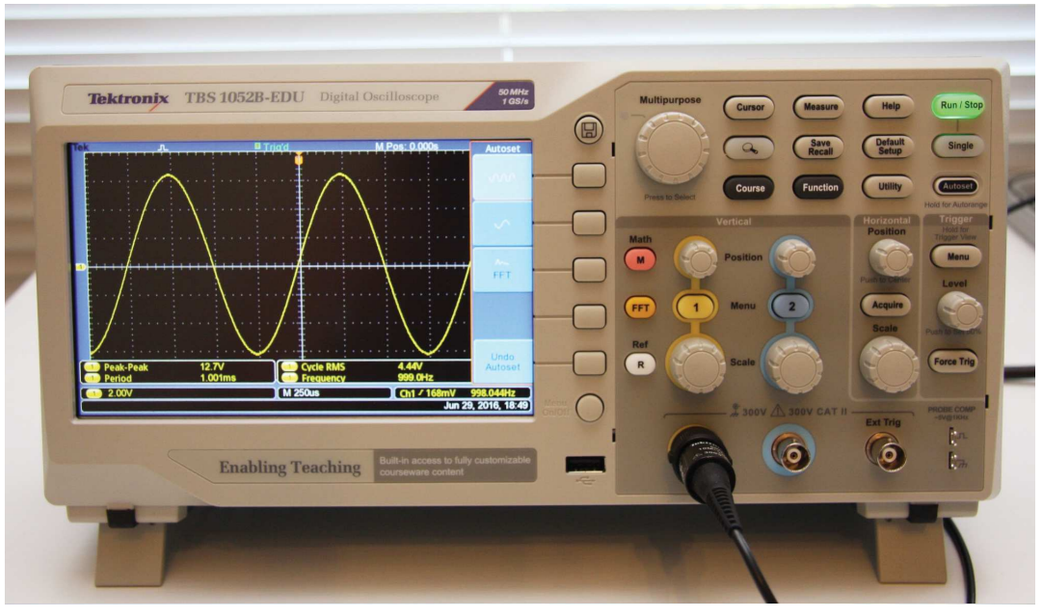
Piirilevyn komponenttien sijoituskuva on osion alussa. Kun kaikki komponentit on juotettu onnistuneesti paikalleen, tarkastetaan vielä komponenttien arvot ja napaisuudet. Jos kaikki asiat ovat kohdallaan, ryhdytään testaamaan laitteen toimintaa. Siihen tarvitaan oskilloskooppi, funktiogeneraattori ja tasajännitelähde. Tutustu näihin laitteisiin internetissä tutustuen samalla oikeisiin laitteisiin työpöydällä. Muista, että oskilloskooppi on kytkettävä maadoittamattomaan pistorasiaan erotusmuuntajan taakse.

TEHTÄVIÄ

1. Miksi vastukset pitää asentaa merkintöjen kannalta samaan suuntaan?

2. Laitteen piirikaaviossa on yksi vieras komponentti. Mikä? Etsi komponentin datalehti ja selvitä, mikä se on ja miksi sitä tarvitaan.

Digitaalisen oskilloskoopin käyttö



Mittapään kalibrointi:

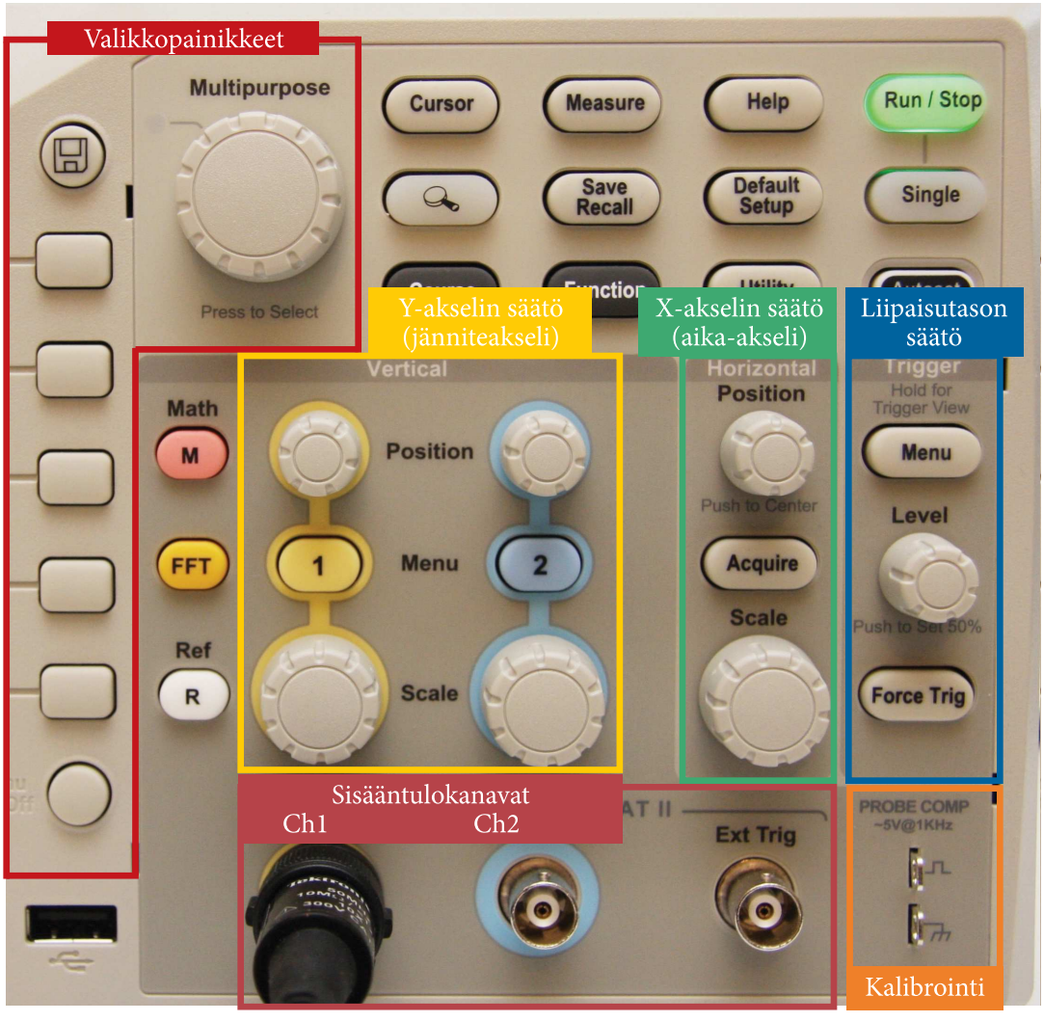
- Kiinnitä mittapää joko 1. tai 2. kanavan sisääntuloon kiinni. Laita koukkupää ”Probe comp.” ylempään lenkkiin ja maadoitus (hauenleuka) alempaan lenkkiin.
- Paina oskilloskoopista ”Autoset”-painiketta tai säädä kuva manuaalisesti saadaksesi tasaisen kuvan.
- Säädä mittapään trimmeriä mukana tulevalla työkalulla tai ruuvimeisselillä, kunnes kuva muodostaa tasaista suorakaideaaltoa.
- Kyseinen kanava on valmis käytettäväksi.

Kuvan muodostaminen:

- Kytke funktiogeneraattori tai muu lähde oskilloskooppiin asianmukaisilla johdoilla.
- Voit ottaa kuvan näkyviin tai pois painamalla kyseisen kanavan numeronäppäintä kerran.
- Kuvan saa helposti luettavaksi ”Autoset”-painikkeella. Molemmille kanaville on värikoodatut nupit vaakasuoran aika-akselin säätöön. Oikealla puolella on pystysuuntaisen jänniteakselin säätönupit.
- Oikeanpuoleisin nuppi säätää liipaisutasoa, jolla kuvan saa pysymään paikoillaan.

Valikkojen käyttö:

- Valikkoja käytetään näytön vieressä olevista harmaista painikkeista. Joissakin valikoissa voi olla useampi vaihtoehto valittavana. Tällöin ”Multipurpose”-nupin vieressä palaa vihreä led. Tällöin voit valita haluamasi kohdan kääntämällä nuppia ja hyväksyä valinnan painamalla sitä.
- Esimerkiksi painamalla ”Cursor”-painiketta, valitse valikosta tyypiksi ”Amplitude”. Kuvaajaan tulee näkyviin kaksi tasoviivaa, jotka näyttävät omat arvonsa näytön oikeassa reunassa. Voit muuttaa viivojen paikkaa painamalla valikosta ”Cursor 1” tai ”Cursor 2” ja kääntämällä ”Multipurpose” -nuppia. Näytön oikeaan reunaan päivittyy reaaliaikaisesti tiedot, kuten tasoviivojen arvot ja niiden välinen tasoero.
- ”Measure”-painikkeesta voit lisätä tarvittavia tietoja kuuvajan alle, kuten taajuus, huippuarvot, maksimi- ja minimiarvot, jaksonaika jne. Voit myös erotella, mitä tietoja haluat miltäkin kanavalta.
- ”Run/Stop” -painikkeesta saat kuvaajan joko pysäytettyä tai jatkuvaksi. Tähän liittyy myös alapuolella löytyvä ”Single” -painike, joka näyttää jäädytetyn kuvan.
- Suurennuslasipainikkeesta voit suurentaa kuvaa valitsemalla valikosta ”Scale” ja kääntämällä ”Multipurpose”-nuppia.
- ”Menu On/Off” -painikkeella saat valikon joko näkyviin tai piilotetuksi.
- ”Course”-painikkeesta pääset harjoitustehtäviin. Voit valita harjoituksen näytön viereisistä painikkeista ja käyttämällä ”Multipurpose”-nuppia. Opetusohjelmia voi tehdä itse oskilloskoopin mukana tulevalla cd-levyllä, jossa on ohjelmat ja ohjeet niiden tekoon.



Käyttöharjoitus

Ihminen kuulee noin 20 Hz:n ja 20 kHz:n välisiä ääniä. Pidetään niitä nyt mittausarvojen rajoina.

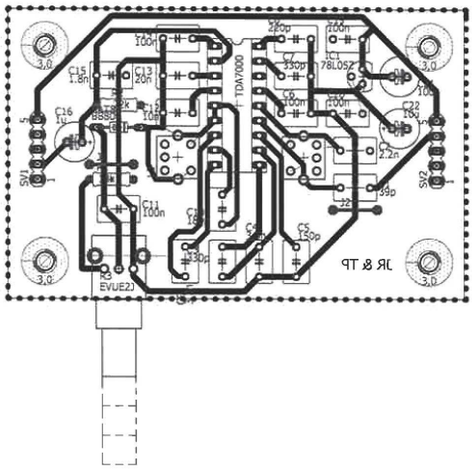
Mittaa esivahvistimen vahvistus $U_{out} : U_{in}$ eri taajuuksilla, esimerkiksi 20 Hz, 100 Hz, 200 Hz jne. esivahvistimen erilaisilla asetuksilla. Generaattorista lähtöjännite asetetaan sinimuotoiseksi huipusta huippuun -arvon ollessa 100 mV.

Mittaa vahvistus voimakkuudensäädin keskiasennossa, basso- ja diskantti keskellä. Kirjaa tulokset ylös. Mittaa sen jälkeen kaikki uudestaan basson ja diskantin minimiarvoilla ja lopuksi basson ja diskantin maksimiarvoilla.

Piirrä saaduista arvoista kuvaaja millimetripaperille, jossa taajuus on vaaka-akselilla ja vahvistus pystyakselilla. Vertaile tuloksia keskenään. Tee raportti kuvaajineen.

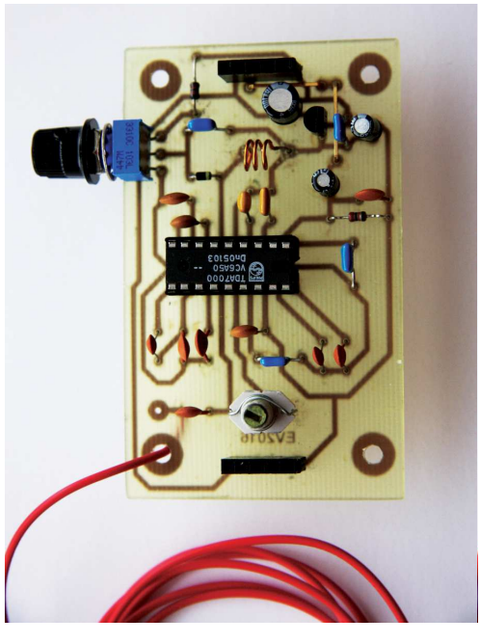
Virittimen rakentaminen ja viritys

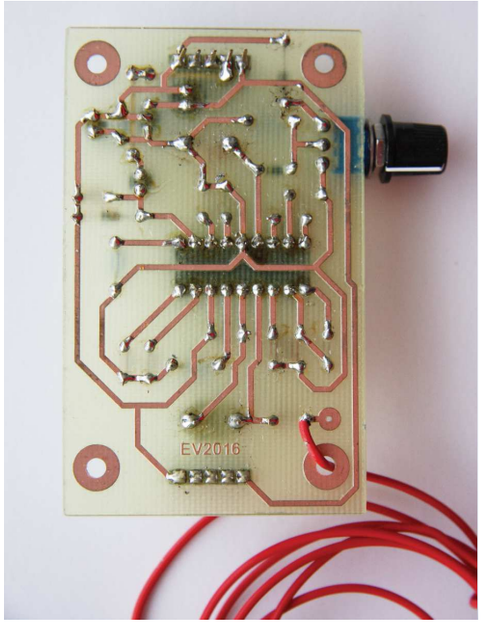
Piirilevyn osasijoittelu:



Viritin rakennetaan samalla tavalla kuin esivahvistin. Lisäksi mikropiiri kannattaa kiinnittää kantaa käyttämällä. Levyt on suunniteltu siten, että niitä voi latoa päällekkäin niin kuin Lego-palikoita.

Viritin on herkkä kelojen L1(4. kier.) ja L2 (3. kier.) (5 mm:n kelarungolla) suhteen. Niitä voi joutua säätämään, jotta kaikki radiokanavat kuuluvat.





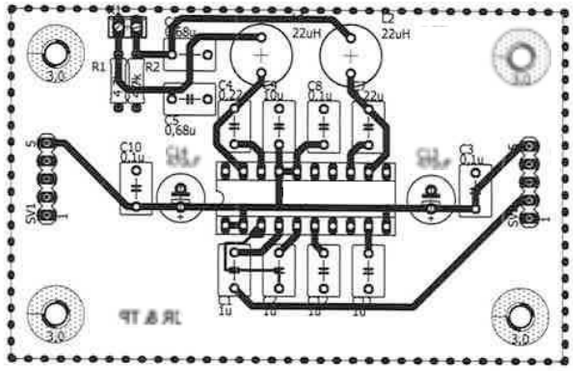
▲ Eri ohjelmalla suunniteltu piirilevy, jossa komponenttien sijoittelu on erilainen. Huomaa, että kelat ovat tarkoituksellisesti erilaisia.

D-luokan vahvistimen rakentaminen

Vahvistinluokkia on olemassa erilaisia. Tässä käytämme D-luokan vahvistinta, koska sen hyötysuhde on digitaalitekniikan ansiosta huomattavasti parempi kuin muissa.

D-luokan vahvistin rakennetaan samaan tapaan kuin esivahvistin ja viritin. Kannattaa kuitenkin muistaa kiinnittää erityistä huomiota juotosjälkeen, koska esimerkiksi kylmäjuotokset voivat vaikuttaa laitteen toimintaan vasta myöhemminkin.

Piirilevy ja komponenttien sijoittelu:



Kotelointi

Jotta radio olisi valmiin näköinen ja hyvä esimerkki vuoden aikana opituista asioista, se myös koteloidaan valmiina saatavaan koteloon. Koteloimista voi myös suunnitella piirustusosion harjoitustyönä.

▲ Avattu radio

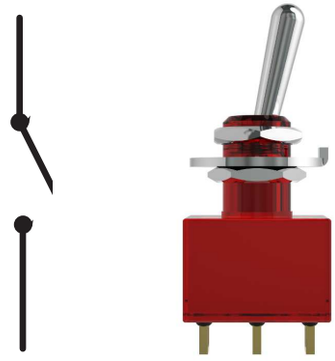
▲ Koteloitu radio

Radion käyttöjännite

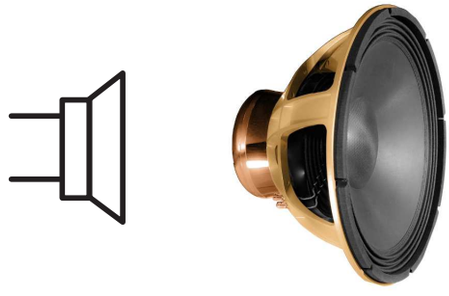
Radiota voi käyttää tavallisella pistorasiaan laitettavalla vakavoidulla 12 V:n verkkolaitteella. Halutessasi voit käyttää myös litium-akkuja. Kolme 3,7 V:n akkua sarjassa tarkoittaa 11,1 V:n käyttöjännitettä. Normaaleilla AA-pariston kokoisilla 14500-sarjan akuilla laite toimii muutaman päivän. Huom.! litium-akut vaativat oman latauslaitteensa. Väärin käytettynä akut voivat aiheuttaa vaaraa. Akkuja valitessasi sinun kannattaa ostaa akut, joissa on suojapiiri sisäänrakennettuna.

Sähkömekaaniset komponentit

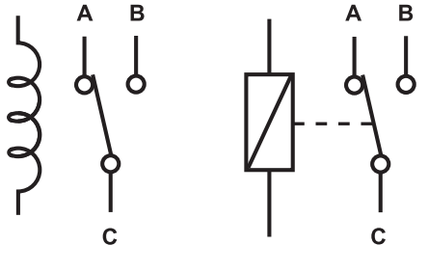
Sähkömekaanisissa komponenteissa sähkövirralla saadaan aikaan jotain mekaanista toimintaa tai mekaanisella toiminnalla vaikutetaan sähkövirtaan. Sähkömekaanisia komponentteja ovat esimerkiksi kytkimet, releet, kaiuttimet, liittimet ja mikrofonit.

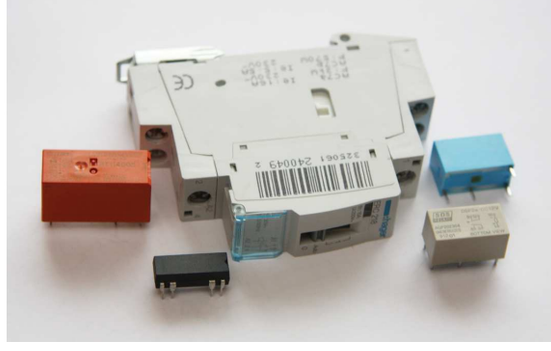


▲ Kytkin



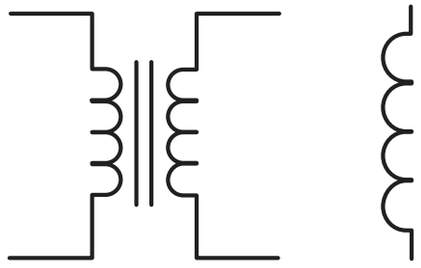
▲ Kaiutin





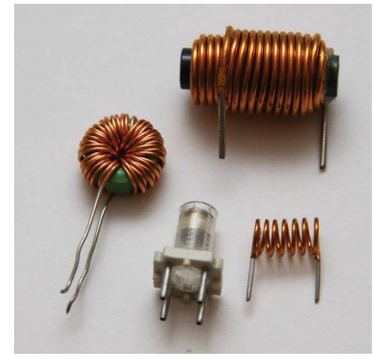
▲ Releitä

Muuntajat ja kelat



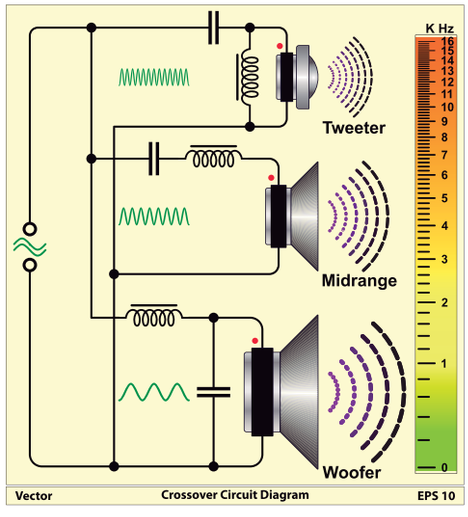
▲ Muuntajan ja kelan piirrosmerkit

▲ Muuntaja

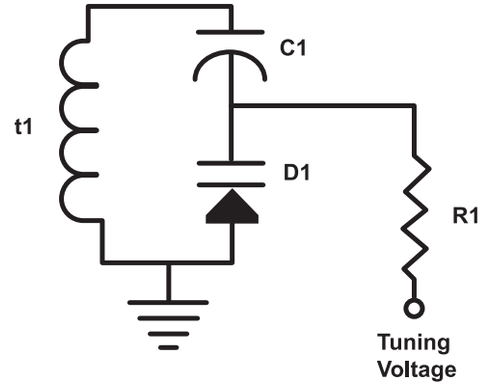


▲ Keloja

Muuntajia käytetään pääasiassa vaihtojännitteen muuntamiseen sopivaksi käyttötarkoituksen mukaan. Lisäksi käyttökohteita ovat esimerkiksi potentiaalien galvaaninen erottaminen. Keloja puolestaan käytetään suotimissa ja virityspiireissä.

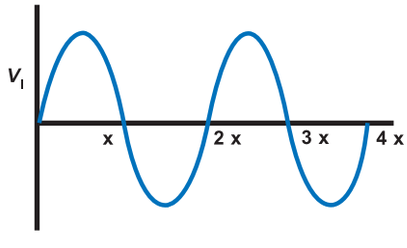


▲ Kaiuttimen jakosuodin

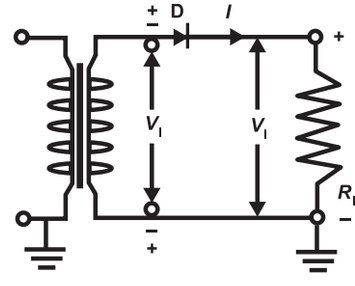


▲ Virityspiiri

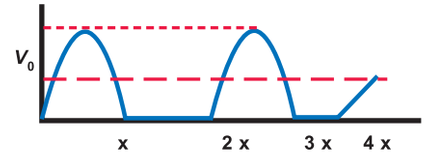
Käytännön esimerkki muuntajan käytöstä:



Input ac signal



Half-wave rectifier circuit



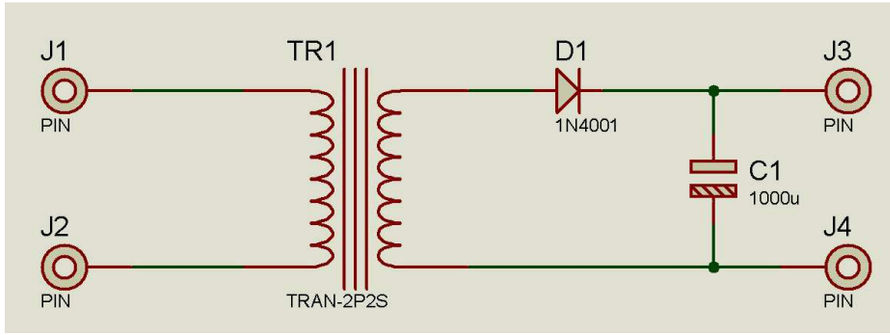
Output dc signal

Puoliaaltotasasuuntauskytkentä

Kytkennässä on muuntaja, diodi ja kuormavastus. Muuntajaan tulee sinimuotoinen vaihtojännite, mistä on enemmän tietoa vaihtojänniteosuudessa. Muuntajan jälkeen on kytketty diodi D. Diodi on puolijohde, joka johtaa sähköä vain toiseen suuntaan. Toimintaperiaatteesta saat lisätietoa netistä etsimällä. Käytännössä se leikkaa negatiivisen puolen vaihtojännitteestä pois. Näin syntyy sykkivä tasajännite, joka sellaisenaan ei sovi käyttöön.

Sykkivä tasajännite täytyy suodattaa laittamalla suodatuskondensaattori kuorman rinnalle diodin jälkeen.

Puoliaalto-tasauskytkentä

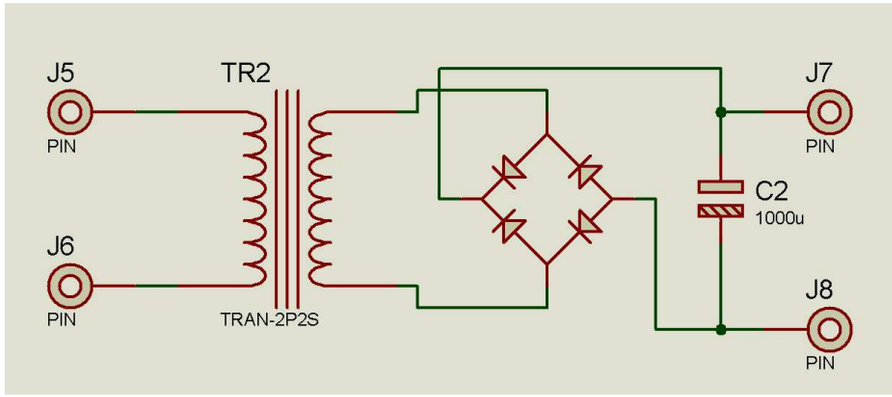


Ulostuleva tasajännite ei vieläkään näytä kovin hyvältä, koska jännite on sen verran epätasainen. Tällä kytkennällä tasasuunnattuun jännitteeseen jää niin sanottu rippeljännite Er. Se aiheuttaa hurinaa esimerkiksi audiovahvistimissa.

Kokoaaltotasasuuntauskytkentä

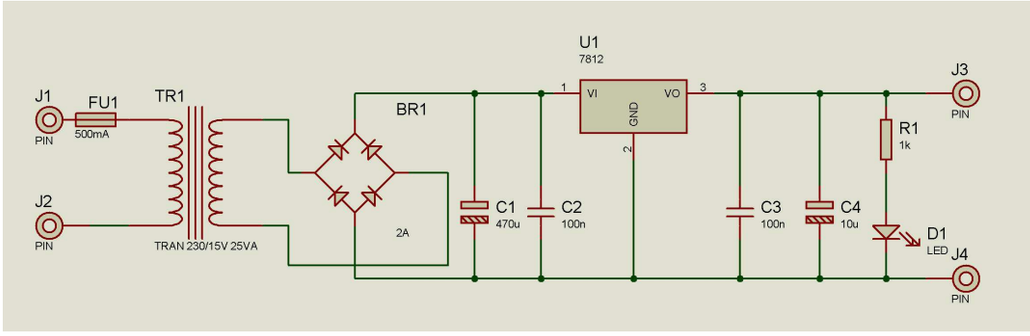
Edellä mainitusta syystä kannattaa käyttää kokoaaltotasasuuntausta ja suodatusta.

Kokoaalto-tasasuuntaus-kytkentä



Todellinen tasajännitelähde

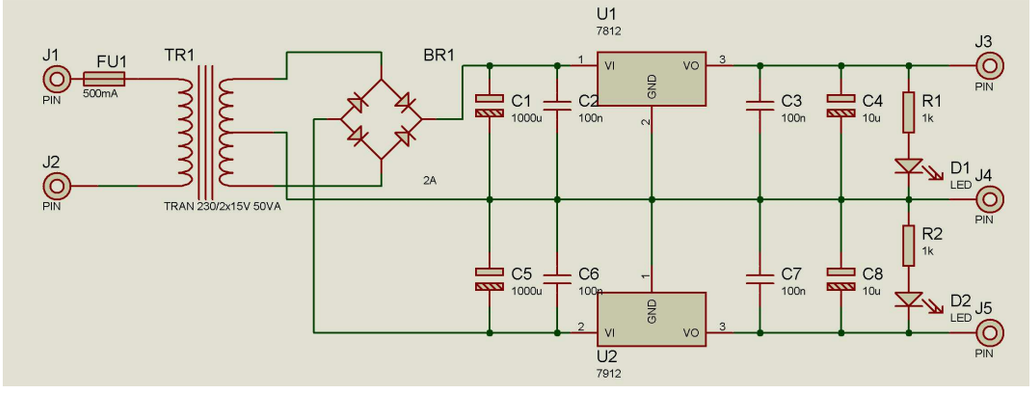
Vielä kun kytkentään lisätään jänniteregulaattori, saadaan verkkolaite, jota voit käyttää myös rakentamassasi radiossa.



Todellinen tasajännitelähde

Kaksipuoleinen jännitelähde

Operaatiovahvistinkytkennöissä käytetään usein kaksipuoleista jännitelähdettä. Nollataso on keskellä, plus-jännite yläpuolella ja miinus-jännite alapuolella.



Kaksipuoleinen jännitelähde

Lopuksi

Toivottavasti sinulla on nyt toimiva radio. Sitä voi käyttää ensimmäisen vuoden näyttönä, kunhan digiosioon sisältyvät ohjelmointi ja kontrollerit lisätään sopivasti. Pääasia kuitenkin on, että osaat juottaa, tunnet joitain elektroniikan komponentteja ja mittalaitteita ja ymmärrät niiden toimintaa. Samalla toivottavasti kiinnostuit selvittämään itse asioita tarkemmin. Internetissä on valtavasti tietoa aiheesta. Alalta on myös useita suomen- ja englanninkielisiä kirjoja.

7 Digitaalielektroniikka

Tässä luvussa

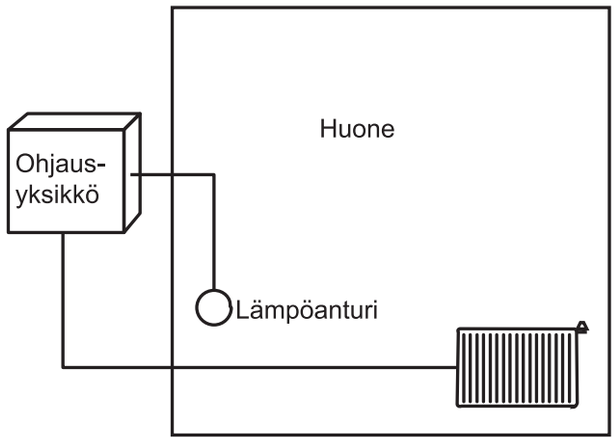
- **käsitellään digitaalisten järjestelmien teoriaa ja toimintaa**
- **käydään läpi luvut ja loogiset operaatiot, jotka muodostavat digitaalisten järjestelmien teorian**
- **käydään läpi mikrokontrolleri komponenttina ja sen kytkennät osana sähköistä järjestelmää. Lisäksi käydään läpi mikrokontrollerin kehitysympäristön käyttö ja kirjoitetaan yksinkertaisia ohjelmakoodeja, joiden avulla pääsee alkuun omien mikrokontrolleri sovellusten tekemisessä.**
- **annetaan valmiuksia yksinkertaisten digitaalisten järjestelmien rakenteluun mikrokontrollerien avulla.**

Johdanto

Trendinä on jo pitkään ollut, että analoginen elektroniikka korvataan digitaalisella. Monet ennen kokonaan analogiset laitteet, kuten radiot ja televisiot, ovat nykyään likipitäen kokonaan digitaalisia. Näissä laitteissa ainoastaan hyvin suurilla taajuuksilla toimivat osat, kuten antennin vahvistimet ja vastaanotinpiirit, ovat edelleen analogisia. Myös esimerkiksi äänen vastaanottaminen mikrofonilla ja lähettäminen kaiuttimelle vaativat analogisia kytkentöjä. Sen sijaan esimerkiksi taajuuskorjaimen suodattimet tehdään täysin digitaalisesti. Syy tähän on digitaalisen järjestelmän luonteessa.

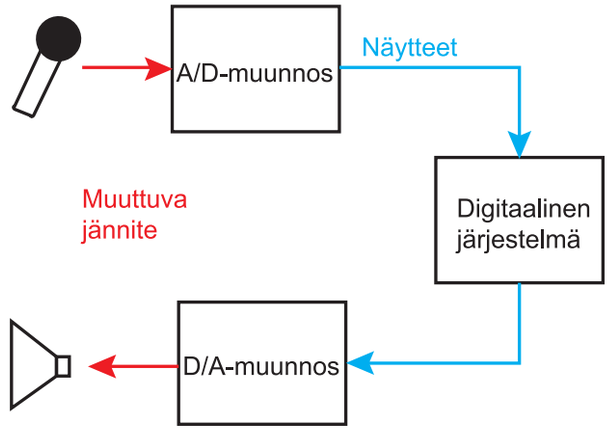
Digitaalisessa järjestelmässä asioilla on vain kaksi tilaa – ”on” ja ”ei ole” – eikä mitään välimuotoja ole. Jotkin asiat ovat luonnostaan tällaisia. Esimerkiksi kytkin on ”kytkettynä” tai ”ei kytkettynä”. Jotkin asiat, joilla mielestämme on myös välimuotoja, käsitellään digitaalisessa järjestelmässä kahden tilan avulla. Esimerkiksi tuulettimen moottori ”pyörii” tai ”ei pyöri” tai sähköpatteri ”lämmittää” tai ”ei lämmitä”. Ajattelemamme välimuodot saadaan aikaisek-

si esimerkiksi kytkemällä patteri lämpiämään, kunnes saavutetaan jokin haluttu lämpötila, minkä jälkeen patteri kytketään pois käytöstä. Jälleen patteria pidetään pois käytöstä, kunnes lämpötila laskee tiettyyn lämpötilaan, minkä jälkeen se kytketään uudestaan lämpiämään. Vaikka siis kytkettynä ja kytkemättömänä olemisen ajat vaihtelevat, digitaalisen järjestelmän luonteen mukaan lämpöpatterilla ajatellaan olevan kaksi tilaa.



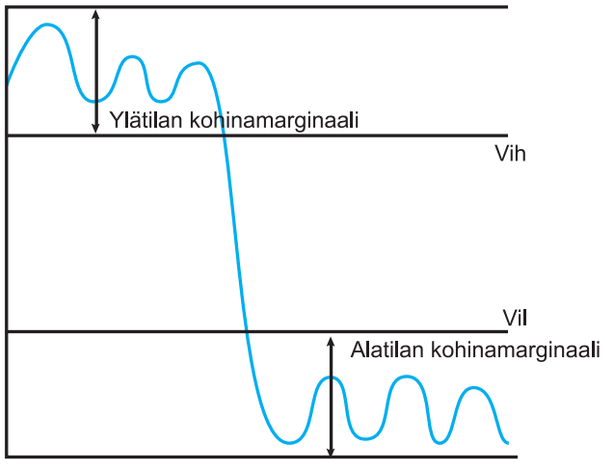
Yksinkertainen ohjausjärjestelmä, jossa huoneen lämpötilaa mitataan lämpötila-anturilla ja sitä lämmitetään tarpeen mukaan, jos lämpötila pääsee liian alhaiseksi.

Kun asioille halutaan välimuotoja, tieto käsitellään lukuina. Tämä vaatii, että analogisesta signaalista otetaan tietyin aikavälein näytteitä ja muunnetaan näytteenä saatu analoginen jännite lukuarvoksi. Tällä tavalla saadaan lukujoukko, joka karkeasti kuvaa jännitteen muutoksia ajan suhteen. Tarkkuus riippuu siitä, kuinka usein näyte otetaan ja kuinka isoja lukuja muunnoksessa on käytettävissä. Tätä prosessia kutsutaan A/D-muunnokseksi. Audiojärjestelmissä taas digitaalinen tieto halutaan muuntaa kaiutinta varten takaisin analogiseksi, jolloin puhutaan D/A-muunnoksesta.



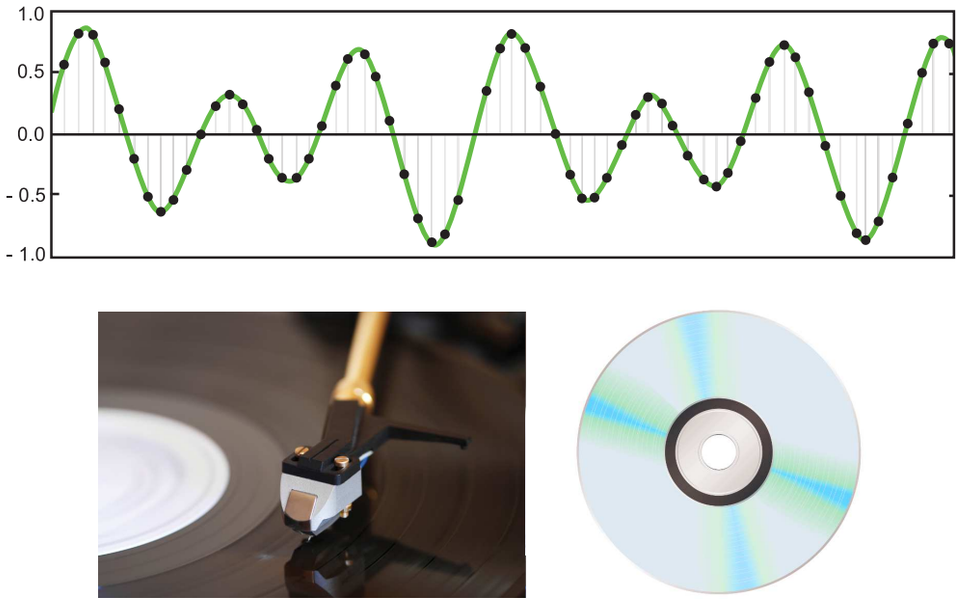
Kun ääntä käsitellään digitaalisesti, on luonnostaan analoginen signaali ensin muunnettava digitaaliseksi, minkä jälkeen muunnoksesta saatu data prosessoidaan digitaalisena ja lopulta prosessoitu data muunnetaan takaisin analogiseksi.

Pääsyy siihen, että luonnostaan analoginen signaali muutetaan digitaaliseksi ja sitten takaisin analogiseksi, on virheensietokyky. Koska digitaalinen signaalilla on vain kaksi tilaa, tarvitaan vain kaksi selvästi erottuvaa jännitettä kertomaan, missä tilassa kulloinkin ollaan. Ajatellaan, että kun jokin laite on käynnissä, järjestelmässä on noin 5 V:n jännite, ja kun se on pois käynnistä, jännite on noin 0 V. Usein tällaisissa digitaalisissa järjestelmissä jo 3 V:n jännite tarkoittaa, että laite on käynnissä, ja 2 V:n jännite tarkoittaa, että se on pois käynnistä. Näin muodostuvat niin sanotut kohinamarginaalit, joita havainnollistetaan seuraavassa kuvassa. Analogisessa järjestelmässä tällaisia marginaaleja ei ole vaan kaikki kohina, jota lämmön ja muiden piirillä esiintyvien ilmiöiden vaikutuksesta syntyy, näkyy suoraan hyötysignaaleissa. Tämän takia digitaalisella järjestelmällä on vastaavaan analogiseen järjestelmään nähden parempi häiriönsietokyky.



Kohinamarginaalit kertovat, kuinka paljon digitaalisen signaalin arvo saa vaihdella, että se vielä tulkitaan ylhäällä tai alhaalla olevaksi. Tämä ominaisuus lisää digitaalisen järjestelmän virheensietokykyä ja siten luotettavuutta.

Toinen digitaalisen järjestelmän etu analogiseen nähden on se, että luvuiksi muunnettua tietoa pystytään tallentamaan ja sille pystytään tekemään laskutoimituksia. Toki analogistakin signaalia voi tallentaa, kuten on tehty kasetille tai LP-levylle, mutta jälleen tallenteesta palautetun signaalin sisältämät häiriöt aiheuttavat analogisella signaalilla enemmän ongelmia kuin vastaavalla digitaalisella signaalilla. Lisäksi digitaalisesti tallennetulle datalle pystytään tekemään laskutoimituksia. Niiden avulla pystytään muokkaamaan digitaalista signaalia ja tekemään erilaisia suodatuksia, joilla toteutetaan esimerkiksi äänen taajuuskorjauksia ja tilaefektejä. Suodatusta pystytään tekemään analogisestikin mutta digitaalisesti pystytään suodattamaan monipuolisemmin. Lisäksi analogiset suodattimet toteutetaan kondensaattoreilla, keloilla ja vastuksilla, joiden arvot vaihtelevat lämpötilan ja ajan suhteen, mikä aiheuttaa muutoksia suodatukseen. Tätä ongelmaa ei digitaalisilla suodattimilla ole, koska muisteihin tallennetut luvut ja niille tehdyt laskutoimitukset eivät muutu lämpötilan tai ajan suhteen.



▲ Vinyylilevyssä musiikki on tallennettu analogisena siinä oleviin uriin. Uraa luetaan levysoittimen neulalla. CD-levyä varten analoginen tieto on muutettu digitaaliseksi ja tallennettu eri tavalla valoa heijastaviksi kohdiksi levyn pinnalle. Data luetaan tulkitsemalla laservalon heijastuman voimakkuutta levynpinnasta.

Digitaalinen järjestelmä vaatii kuitenkin aina analogisia kytkentöjä kommunikoidakseen ympäristönsä kanssa. Kaikki luonnon ilmiöt ovat analogisia. Esimerkiksi vettä lämmitettäessä veden lämpötila ei yhtäkkiä hyppää sataan asteeseen vaan muutos tapahtuu käyden läpi kaikki lämpötilat alkulämpötilan ja sadan asteen väliltä. Sama asia pätee muihin ilmiöihin, joita pystytään mittaamaan, kuten paineeseen tai valon määrään. Näiden luonnon ilmiöiden muuttamiseen jännitteeksi tarvitaan aina jokin analoginen kytkentä.

Lukujärjestelmät

Digitaalisissa järjestelmissä käytetään lukuja. Arkielämässä käytetään desimaalilukuja, joiden kantaluku on 10. Kantaluku kertoo, kuinka monta numeromerkkiä on käytössä. Kymmenkantajärjestelmä opitaan jo peruskoulussa. Syy sen käytön yleisyyteen lienee se, että ihmisellä on 10 sormea. Digitaalisissa järjestelmissä käytetään binäärilukujärjestelmässä olevia lukuja, joiden kantaluku on 2. Binääriluvuille tyypillisiä esitysmuotoja ohjelmoinnissa ja digitaalisten järjestelmien suunnittelussa ovat oktaali- ja erityisesti heksadesimaalilukujärjestelmät, joiden kantaluvut ovat 8 ja 16. Nämä lukujärjestelmät on koottu seuraavaan taulukkoon. Tässä luvussa käydään läpi, mitä ne tarkoittavat.

Desimaali	Oktaali	Heksadesimaali	Binääri
0	0	0	0000
1	1	1	0001
2	2	2	0010
3	3	3	0011
4	4	4	0100
5	5	5	0101
6	6	6	0110
7	7	7	0111
8	10	8	1000
9	11	9	1001
10	12	A	1010
11	13	B	1011
12	14	C	1100
13	15	D	1101
14	16	E	1110
15	17	F	1111

Kantaluku siis kertoo, kuinka monta numeromerkkiä on käytössä. Kymmenkantajärjestelmässä nämä merkit ovat luvut 0–9. Kun lukuja ylöspäin laskettaessa päästään ykkösissä yhdeksään, seuraavaksi ykkösissä tulee nolla ja kymmeniin lisätään yksi. Näin saadaan luku 10 (9 →10). Edelleen kun kymmenet saavuttavat luvun 9, seuraavana niihin tulee 0 ja sadat kasvavat yhdellä. Näin saadaan ykköset (10^0), kymmenet (10^1), sadat (10^2), tuhannet (10^3) jne. kantaluvun potensseina. Tämä on varmasti kaikille tuttua jo peruskoulusta. Matemaattisesti kymmenkantainen luku voidaan esittää seuraavasti:

$$D = d_0 10^0 + d_1 10^1 + \ldots d_{n-1} 10^{n-1}$$

Kaavassa D on kymmenkantainen luku, d_0 on ykkösten määrä, d_1 on kymmenten määrä, d_2 on satojen määrä jne. Jokainen d:n arvo voi olla jokin luku 0:n ja 9:n välillä. Kaavassa n on luvussa olevien numeroiden määrä, eli jos n on 3, kyseessä on kolmenumeroinen luku. Otetaan esimerkkinä desimaaliluku 523, jolle kaava saa muodon

$$D = 3 \cdot 10^0 + 2 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^2 = 523$$

Kymmenkantajärjestelmä on ihmisille luontainen, mutta tietokoneelle se on epäluontainen. Tämä johtuu siitä, että tietokone pystyy esittämään vain kaksi

numeromerkkiä – nollan (0) ja ykkösen (1) – ja että luku 10 ei ole 2:n potenssi. Mutta miksi sen pitäisi olla 2:n potenssi?

Lähdetään siitä, että koska tietokone pystyy esittämään vain kaksi eri numeromerkkiä, puhutaan kaksikantajärjestelmän luvuista eli binääriluvuista. Tälle lukujärjestelmälle edellä esitetty kaava saa muodon

$$D = b_0 2^0 + b_1 2^1 + \ldots + b_{n-1} 2^{n-1}$$

Kaavassa D on jälleen kymmenkantainen luku. b_0, b_1 ja b_{n-1} ovat binääriluvun bitin arvoja, jotka voivat olla 0 tai 1. Kaavassa n on luvun bittien lukumäärä. Lasketaan nyt tällä kaavalla esimerkkinä neljäbittisen binääriluvun 1001 arvo kymmenkantajärjestelmässä:

$$D = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 = 9$$

Huomataan, että vastaus oli kymmenkantajärjestelmän suurin numeromerkki. Kun tähän lisätään ykkönen, kymmenkantajärjestelmässä tulee yksi numero lisää, kun taas kaksikantaluvusta tulee 1010 ja joudutaan lisäämään vielä kuusi kertaa ykkönen ennen kuin tulee yksi bitti lisää. Tästä syystä esimerkiksi tietokoneen prosessori joutuu tekemään ylimääräistä laskentaa pystyäkseen näyttämään luvut kymmenkantajärjestelmässä käyttäjälle.

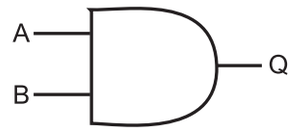
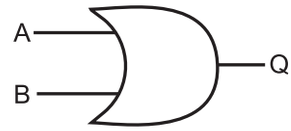
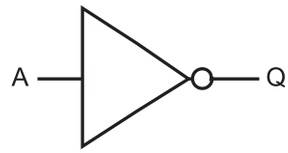
Muita digitaalitekniikassa käytettyjä lukujärjestelmiä ovat oktaaliluvut, joiden kantaluku on 8, ja heksadesimaaliluvut, joiden kantaluku on 16. Näistä yleisimmin käytetty on heksadesimaalijärjestelmä. Näitä lukujärjestelmiä käytetään pitkien binäärilukujen esittämiseen. Esimerkiksi 32-bittinen binääriluku 10010010101001010010011001010001 on heksadesimaalimuodossa 92A52651, joka on huomattavasti helpompi lukea.

Muunnos binäärilukujen ja heksadesimaalilukujen välillä on helppoa, koska niiden molempien kantaluku on 2:n potenssi. Muunnos tapahtuu jakamalla binääriluku neljän bitin ryhmiin niin, että jokainen ryhmä tarkoittaa yhtä heksadesimaaliluvun merkkiä. Tätä muunnosta havainnollistaa seuraava taulukko.

Binääriluku	**0**	**1**	**1**	**0**	**1**	**1**	**0**	**1**
Heksadesimaalikuku	6				D			

Boolen algebra

Digitaalisissa järjestelmissä kaikki toiminta perustuu Boolen algebraan. Boolen algebra on joukko laskutoimituksia, joista muodostuu matemaattinen esitys logiikkaporteilla toteutetun laitteen toiminnasta. Näin toteutettua laitetta kutsutaan usein logiikaksi. Boolen algebrassa käytetyt operandit kuvaavat logiikan tuloja ja laskutoimitusten vastaukset ovat logiikan lähtöjä. Boolen algebran peruslaskutoimitukset ovat AND (JA), OR (TAI) ja NOT (EI). Boolen laskutoimitukset voidaan esittää kolmessa erilaisessa muodossa: totuustauluina, kaavoina ja piirrossymbolien avulla. Seuraavaan on koottu nämä kaikki esitysmuodot.

Operaation nimi	Totuustaulu	Boolen lauseke	Piirrossymboli piirikaaviossa
AND (JA)	A B Q 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	$Q = A \cdot B$	
OR (TAI)	A B Q 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	$Q = A + B$	
NOT (EI)	A Q 0 1 1 0	$Q = \overline{A}$	

Totuustaulu on taulukko, jossa vasemmalla ovat logiikan tulot ja oikealla logiikan lähtöjen arvot kyseisillä tulojen arvoilla. Totuustaulu on helppolukuinen ja hyvä yksinkertaisten logiikkojen toiminnan esittämisessä. Totuustaulusta pystyy heti näkemään, miten lähtö käyttäytyy eri tulojen arvojen yhdistelmillä. Siitä ilmenee esimerkiksi seuraavia asioita:

- AND-operaation lähtö saa arvon yksi vain, kun molempien tulojen arvot ovat ykkösiä.
- OR-operaatiolle lähtö on yksi, jos jompikumpi tai molemmat tuloista ovat ykkösiä.
- NOT-operaatio vaihtaa ykkösen nollaksi ja nollan ykköseksi.

Totuustaululla voidaan esittää muitakin toimintoja. Periaatteessa kuvattavan logiikan suuruuden rajana on paperin koko, kun logiikan tulojen määrä kasvaa riittävän suureksi. Totuustaulun rivien määrä on nimittäin 2^n, missä n on tulojen lukumäärä. Esimerkiksi 6-tuloisen logiikan totuustaulussa on 64 riviä, mikä tekee totuustaulusta jo melko hankalalukuisen.

Huomataan, että logiikassa tulot ja lähdöt voivat saada arvon ”1” tai ”0”. Jos järjestelmällä ohjataan jotakin, arvot ”1” ja ”0” voivat tarkoittaa myös fyysisiä ilmiöitä, kuten sitä, että kytkin tai venttiili on ”auki” tai ”kiinni”, moottori ”pyörii” tai ”ei pyöri” ja patteri ”lämpenee” tai ”ei lämpene”. Arvot voivat siis kuvata jonkin toiminnan tilaa. Ne voivat olla myös osa laskentaa, kuten ovat a, b, c_{in}, c_{out} ja s alla olevassa kokosummaimen totuustaulussa. Seuraavassa käydään esimerkkinä läpi kokosummaimen toteuttaminen logiikkaporteilla.

Tulot			Lähdöt	
a	**b**	**c_{in}**	**s**	**c_{out}**
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Ensin pitää ymmärtää, miten kokosummain toimii. Kokosummain on osa yhteenlaskua A + B = S, joka tietokoneen ymmärtämillä binääriluvuilla on seuraava.

	C			1	1	1					1		
	A			0	1	1	1					7	
+	B		+	0	0	1	1			+		3	
	S			1	0	1	0				1	0	

Yhteenlasku suoritetaan siis aivan samalla tavalla kuin tutuilla desimaaliluvuillakin. Kokosummain laskee binääriluvuilla allekkain summan (s) lukujen A ja B yksille numeroille. Se ottaa laskussa huomioon edellisten numeroiden yhteenlaskusta tulevan lainauksen (c_{in}) ja tuottaa tuloksena lainauksen seuraavien lukujen yhteenlaskulle (c_{out}). Tätä lainausta kutsutaan digitaalitekniі-

kassa nimellä ”carry”, mistä tulee tunnus C. Kahden nelibittisen luvun yhteenlaskuun tarvitaan neljä kokosummainta.

Boolen lausekkeet ovat kuin matematiikan funktioita, missä yhtäsuuruusmerkin vasemmalla puolella on tulos ja oikealla puolella operandeista ja operaattoreista muodostuva lauseke. Boolen lausekkeen tulos vastaa logiikan lähtöä, ja operandit vastaavat sen tuloja. Boolen lausekkeet ovat hyviä, kun halutaan löytää optimaalisin tapa toteuttaa logiikka perusoperaatioilla.

Boolen lausekkeilla optimaalisin toteutus haetaan sieventämällä niitä käyttämällä tiettyjä laskusääntöjä. Jotkin näistä säännöistä ovat hyvin tuttuja matematiikan sievennyssäännöistä:

– kommutatiivisuus: Boolen lausekkeen operandien paikkaa voi vaihtaa, ja niitä voi ryhmitellä suluilla.

$$AB = BA \qquad A + B = B + A$$
$$(AB)C = A(BC) \qquad (A + B) + C = A + (B + C)$$

– assosiatiivisuus: matematiikasta tuttu yhteisten tekijöiden hakeminen. Erona tavanomaiseen matematiikkaan on se, että Boolen algebrassa tämä toimii sekä AND- että OR-operaatioille samalla tavalla.

$$A(B + C) = AB + AC \qquad A + BC = (A + B)(A + C)$$

– operaatiot itsensä kanssa

$$AA = A \qquad A\overline{A} = 0$$
$$A + A = A \quad A + \overline{A} = 1 \quad \overline{(\overline{A})} = A$$

– muutama tärkeä johdettu sääntö, joista ensimmäinen tunnetaan myös nimellä Demorganin sääntö

$$\overline{A} + \overline{B} = \overline{A}\overline{B}\ (\text{Demorgan}) \qquad A + \overline{A}B = A + B$$

– yhtälöt XOR- ja XNOR-operaatioille, jotka käydään läpi myöhemmin

$$A \oplus B = A\overline{B} + \overline{A}B \qquad \overline{(A \oplus B)} = AB + \overline{A}\overline{B}$$

Koska Boolen algebra on enemmän suunnittelijan työkalu, siihen ei tässä paneuduta kovin syvällisesti. Katsotaan kuitenkin esimerkin avulla, miten kokosummaimelle pystytään löytämään optimaalinen toteutus. Aloituslausekkeet saadaan poimimalla totuustauluista rivit, missä lähtö saa arvon 1, ja yhdistämällä näin saadut AND-lausekkeet OR-operaation avulla. AND-lausekkeessa tuloihin, joilla on arvo 0, laitetaan NOT-operaatio. Näin muodostettuna saadaan summalle ja carrylle seuraavat Boolen lausekkeet:

$$s = \overline{a}\overline{b}c_i + \overline{a}b\overline{c}_i + a\overline{b}\overline{c}_i + abc_i$$
$$c_o = \overline{a}bc_i + a\overline{b}c_i + ab\overline{c}_i$$

Aloitetaan summan sieventäminen ryhmittelemällä termit uudelleen seuraavasti:

$$s = \overline{a}\overline{b}c_i + abc_i + \overline{a}b\overline{c}_i + a\overline{b}\overline{c}_i$$

Sitten otetaan yhteisiä tekijöitä seuraavasti:

$$s = (\overline{a}\overline{b} + ab)c_i + (\overline{a}b + a\overline{b})\overline{c}_i$$

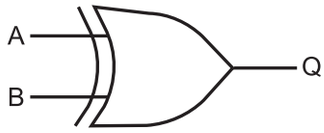
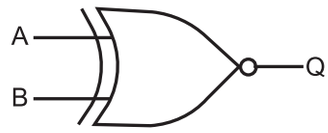
Huomataan, että suluista löytyvät XOR- ja XNOR-lausekkeet, jolloin saadaan seuraava muoto:

$$s = (a \oplus b)c_i + \overline{(a \oplus b)}\overline{c}_i$$

Jälleen huomataan, että $a \oplus b$ muodostaa XOR-lausekkeen c_i:n kanssa ja saadaan

$$s = (a \oplus b) \oplus c_i$$

Näin huomataan, että summan pystyy toteuttamaan kahdella XOR-portilla. **XOR** ja **XNOR** ovat portteja, joille on aivan omia toteutuksia. XOR on pois sulkeva OR-portti, mikä tarkoittaa, että se saa arvon 1 vain, jos jompikumpi tuloista on 1. Muulloin se on 0. XNOR on XOR käänteisenä. XOR- ja XNOR-porttien totuustaulut, Boolen lausekkeet ja symbolit piirikaaviossa on koottu seuraavalle sivulle.

Operaation nimi	Totuustaulu	Boolen lauseke	Piirrossymboli piirikaaviossa
XOR	A B Q 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0	$Q = A \oplus B$	
XNOR	A B Q 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1	$Q = \overline{A \oplus B}$	

Sievennetään vielä carry-lauseke. Aloitetaan yhteisen tekijän ottamisella:

$$c_o = (\overline{a}b + a\overline{b})c_i + ab(\overline{c}_i + c_i)$$

Jälleen siellä on XOR-operaatio, jolloin saadaan

$$c_o = (a \oplus b)c_i + ab(\overline{c}_i + c_i)$$

Lisäksi siellä on c_i:n OR-operaatio itsensä käänteisarvon kanssa, joka on aina 1, joten lauseke saadaan muotoon

$$c_o = (a \oplus b)c_i + ab(1)$$

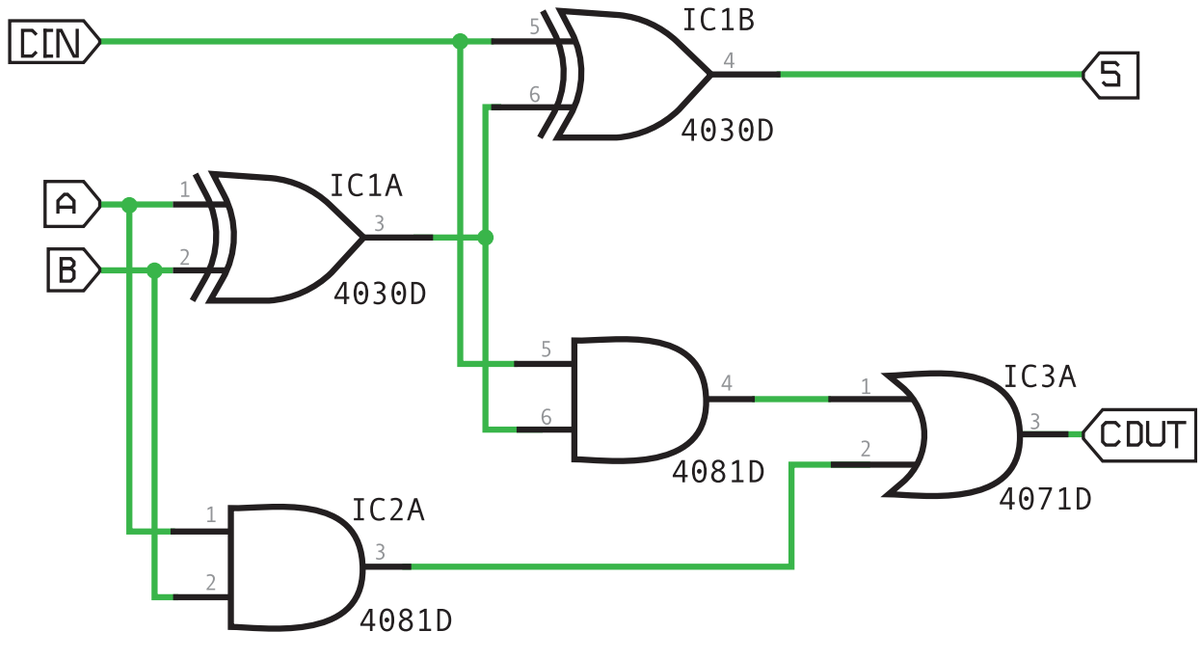
Koska ab:n AND-operaatio ykkösen kanssa on ab, saadaan

$$c_o = (a \oplus b)c_i + ab$$

Laitetaan vielä molemmat sievennetyt lausekkeet rinnakkain:

$$s = (a \oplus b) \oplus c_i$$
$$c_o = (a \oplus b)c_i + ab$$

Harjaantunut silmä pystyy näkemään lausekkeista suoraan logiikan porttitoteutuksen. Lausekkeissa on jopa yhteisiä portteja, eli $a \oplus b$ on molemmissa lausekkeissa. Porteilla piirrettynä kokosummaimen toteutus näyttää seuraavalta:



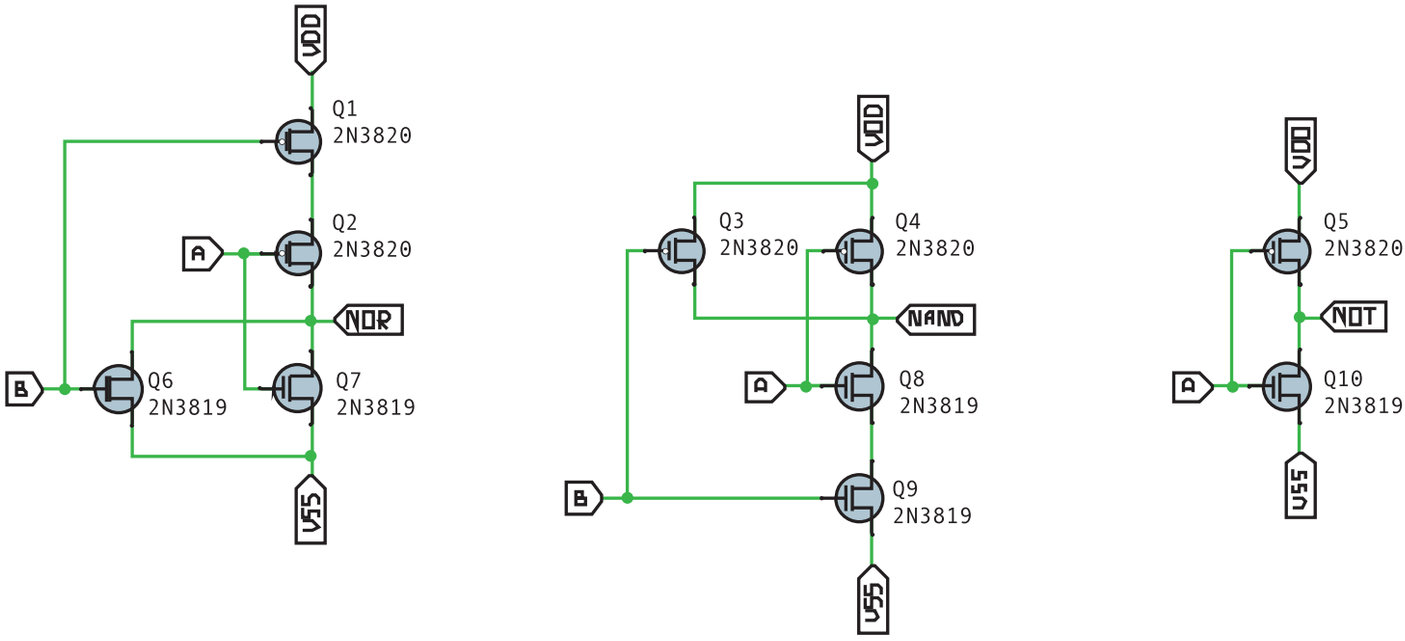
▲ Kokosummaimen toteutus logiikkaporteilla. Optimoidussa toteutuksessa summan ja lainauksen laskemiseen käytetään osittain samaa logiikkaa (kuvassa IC1A).

Tällä tavalla toteutetaan porttien avulla logiikkaa. Tässä esimerkissä toteutettava toiminto oli kokosummain. Samalla tavalla pystytään toteuttamaan mikä tahansa systeemi, jonka tulojen ja lähtöjen välinen suhde pystytään kuvaamaan totuustauluin tai Boolen lausekkeiden avulla.

Logiikat muodostuvat siis perusporteista, joille on monenlaisia toteutuksia mutta joissa tietyt perusajatukset ovat aina samoja. Sähköisessä toteutuksessa digitaalisessa järjestelmässä arvoa 0 vastaa 0 V:n jännite ja arvoa 1 esimerkiksi 5 V:n jännite. Arvoja vastaavat jännitteet voivat olla muutakin, tai ne voivat olla myös virtoja. Pääasia on, että pystytään helposti tunnistamaan, kumpi arvoista on kyseessä. Sitten esimerkiksi jännitteillä toimivan perusportin toteutuksessa muutetaan lähdön jännitettä tulojen jännitteiden perusteella toteutettavan logiikan mukaisesti.

Seuraavassa kuvassa esitetään Boolen operaatioiden transistoritoteutukset digitaalisella IC-piirillä. Perusajatuksena toteutuksessa on avata ja sulkea tulojen jännitteen avulla transistoreja siten, että lähtö menee käyttöjännitteeseen tai maihin portin logiikan mukaisesti. Esimerkiksi NOT-portin toteutuksessa (kuvassa vasemmanpuoleinen kytkentä) kun tulo A on käyttöjännitteessä (VDD), transistori Q5 on suljettuna ja Q10 auki ja lähtö on vedettynä maihin. Kun taas tulo on maissa, Q5 on auki ja Q10 suljettuna, jolloin lähtö on vedettynä käyttöjännitteeseen. Näin kytkentä toimii kuten NOT-portti.

Huomataan, ettei AND:lle ja OR:lle löydy suoraan toteutuksia vaan niille toteutetaan käänteiset versiot NAND (EI JA) ja NOR (EI TAI) ja vain NOT pystytään toteuttamaan sellaisenaan. Näitä kolmea operaatiota yhdistelemällä peräkkäin pystytään toteuttamaan myös AND- ja OR-operaatiot liittämällä NOT-operaatio suoraan NAND- tai NOR-operaatioiden lähtöön. Tällä tavalla operaatioita yhdistelemällä pystytään toteuttamaan monimutkaisempiakin toimintoja, kuten erilaiset aritmeettiset laskutoimitukset ja lopulta digitaalisia järjestelmiä prosessoreineen.



▲ Kytkennät loogisten operaatioiden toteutukselle mikropiirillä. Operaatiot vasemmalta oikealle: NOR, NAND ja NOT. Operaatiot OR ja AND toteutetaan näitä yhdistelemällä.

Mikrokontrollerit

Mikrokontrollerit ovat yleiskäyttöisiä mikropiirejä, joiden toimintaa voidaan hyvin monipuolisesti muuttaa tarpeen mukaan. Tästä syystä niitä käytetään toiminnan ohjaamiseen miltei kaikissa sähkölaitteissa, kuten autoissa, puhelimissa, televisioissa, radioissa, mikroaaltouuneissa, pesukoneissa, herätyskelloissa ja erilaisissa automaatiosovelluksissa. Ihmiset siis tietämättäänkin käyttävät kymmeniä mikrokontrollerein ohjattuja laitteita arkisissa toimissaan päivittäin. Näitä laitteita, joissa on mikroprosessori ohjaamassa toimintaa, kutsutaan sulautetuiksi järjestelmiksi.

Mikrokontrolleriympäristö

Toimiakseen mikrokontrolleri tarvitsee seuraavat asiat:

1. käyttöjännite
Mikrokontrolleri saa energian toimintaansa käyttöjännitteestä, joka saadaan jännitelähteestä. Sen suuruus on usein 3,3 tai 5 V. Oikean arvon löytää mikrokontrollerin datalehdestä. Oikeaa käyttöjännitettä ei yleensä saada suoraan jännitelähteeltä, vaan jännite lasketaan oikeaksi jänniteregulaattorin avulla.

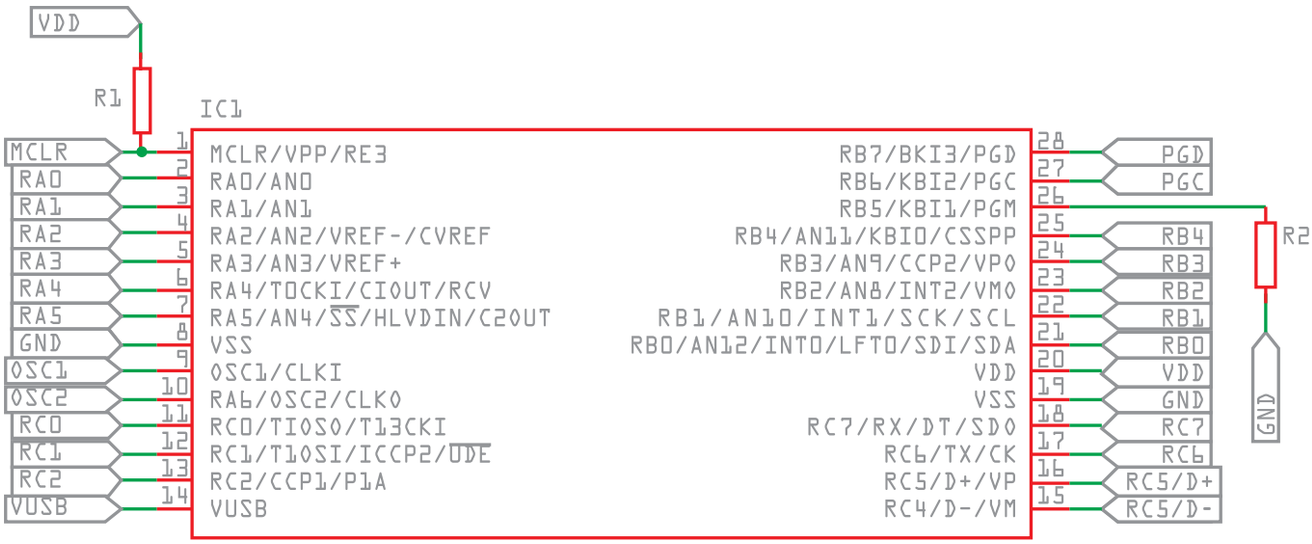
2. oskillaattori
Oskillaattori on piiri, joka värähtelee tietyllä taajuudella. Näin se määrittää taajuuden, jolla mikrokontrolleri toimii, ja vaikuttaa siihen, kuinka monta toimintoa se pystyy suorittamaan sekunnissa. Tätä kautta se vaikuttaa suoraan mikrokontrollerin suorituskykyyn.

3. liitäntä ohjelmointia varten
Tehdäkseen jotakin järkevää mikrokontrolleri tarvitsee ohjelman, joka kertoo, mitä sen pitää tehdä. Ohjelma voidaan syöttää mikrokontrollerille etukäteen, mutta yhä useammin halutaan, että se on päivitettävissä, kun mikrokontrolleri on kiinni sulautetussa järjestelmässä. Tätä varten järjestelmässä on jokin liityntä, jonka kautta ohjelman pystyy syöttämään mikrokontrollerille.

Rakennetaan seuraavaksi oma mikrokontrolleriympäristö, jolla voidaan myöhemmin helposti kokeilla erilaisia asioita.

Kun rakennellaan mikrokontrollereilla, on aina ensin päätettävä, mitä mikrokontrolleria käytetään. Nykyisin on käytettävissä useitakin vaihtoehtoja eri valmistajilta, mutta tässä kirjassa käytetään harrastelijoillekin sopivaa Microchipin PIC18F2455-mikrokontrolleria, joka on riittävä moneen tarkoitukseen.

Piirikaaviossa mikrokontrolleri näyttää seuraavalta. Piirikaaviossa on muutama vastus, joiden tarkoitukseen palataan myöhemmin.



▲ Piirikaaviossa mikrokontrollerin symboli on hämähäkin näköinen laatikko, josta selviävät piirin jalkojen nimet ja/tai numerot.

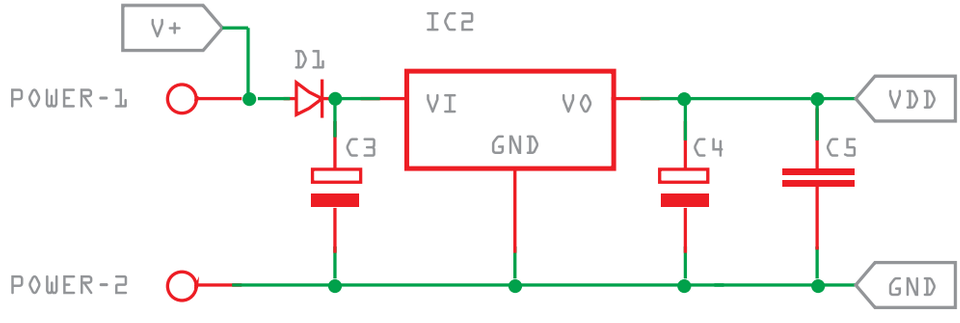
Monimutkaisia piirikaavioita tehtäessä on järkevää käyttää nimilappuja (VDD). Nimilappujen idea on, että samalla nimellä varustetut nimilaput on yhdistetty keskenään. Ne siis muodostavat piirikaaviossa johtimen. Nimilappujen avulla vältytään johdinsekamelskoilta, jonka näiden johtimien piirtäminen kuvaan aiheuttaisi. Lisäksi se mahdollistaa eri kytkennän osien järkevämmän sijoittelemisen piirtoalueelle. Tässä kirjassa hyödynnetään nimilappujen tätä ominaisuutta sijoittamalla saman piirikaavion kytkentöjä eri puolille tekstiä. Kun haluat tietää, mihin pinniin jokin tekstissä esiintyvä kytkentä prosessorissa kytketään, seuraa siis nimilappuja.

Kun mikrokontrolleri on valittu, aloitetaan kytkennän rakentaminen. Toimiakseen mikrokontrolleri tarvitsee siis

a) käyttöjännitteen

b) oskillaattorin

c) liitännän ohjelmointia varten.



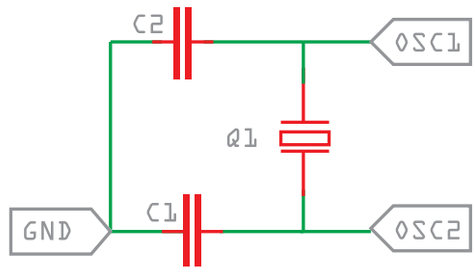
▲ Mikrokontrolleri ei kestä suuria jännitteitä, mitä varten sen käyttöjännite pitää alentaa sopivaksi kuvassa olevan regulaattorikytkennän avulla.

Käyttöjännitettä varten piirikortilla on jokin kaksinapainen liitin (edellisen sivun kuvassa POWER-1 ja POWER-2), johon tuotu jännite pienennetään mikrokontrollerille sopivaksi. Tässä tapauksessa sopiva jännite on 5 V, joka saadaan aikaiseksi 5 V:n jänniteregulaattorilla 7805 (kuvassa IC2). Regulaattori on tapana suojata diodilla (kuvassa D1) esimerkiksi väärinpäin laitetun pariston aiheuttamalta vääränsuuntaiselta jännitteeltä. Regulaattori tarvitsee ympärilleen kondensaattoreita (kuvassa C3, C4 ja C5) tasoittamaan mikrokontrollerin toiminnan aiheuttamia äkillisiä jännitteen pienenemiä. Kondensaattorien C3 ja C4 kapasitanssi on usein noin 10 µF, ja ne sijoitetaan lähelle regulaattoria. Kondensaattorin C5 kapasitanssi taas on noin 0,1 µF, ja se sijoitetaan lähelle mikrokontrollerin käyttöjännitepinniä.

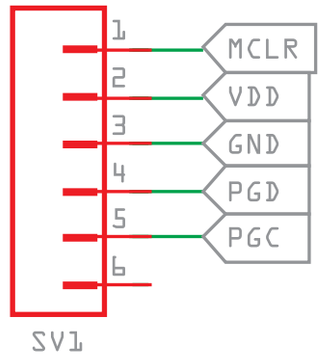
Oskillaattori määrää mikrokontrollerin nopeuden. Useissa mikrokontrollereissa on sisäinen oskillaattori, joka pystytään ohjelmoinnin yhteydessä ottamaan käyttöön. Sisäistä oskillaattoria käytettäessä mitään ulkoista kytkentää ei tarvita. Tässä tapauksessa käytetään kuitenkin kidettä (kuvassa Q1), joka tarjoaa tarkemman ja vähemmän lämmön vaihteluille herkän taajuuden. Kondensaattorien C1 ja C2 arvot riippuvat käyttämäsi kiteen taajuudesta. Katso tarkemmin datalehdestä.

Ohjelmointiliitännän (kuvassa SV1) kautta mikrokontrolleri pystytään ohjelmoimaan piirikortista irrottamatta. Microchipin mikrokontrollereita pystyy ohjelmoimaan PICkit 3 -ohjelmointilaitteella.

Ohjelmointiliitäntään pitää kytkeä viisi signaalia: käyttöjännite (VDD), maa (GND), mikrokontrollerin nollaussignaali (MCLR) sekä kello (PGC) ja data (PGD) ohjelmointidatan sarjamuotoista siirtämistä varten. Mikrokontrollerin nollaussignaali pitää kytkeä vastuksen (R1) avulla käyttöjännitteeseen, jotta mikrokontrol-



Kuvan oskillaattorikytkentä muodostaan mikrokontrollerin pinneihin OSC1 ja OSC2 tietyllä taajuudella värähtelevän signaalin, joka määrittää sen suoritusnopeuden.

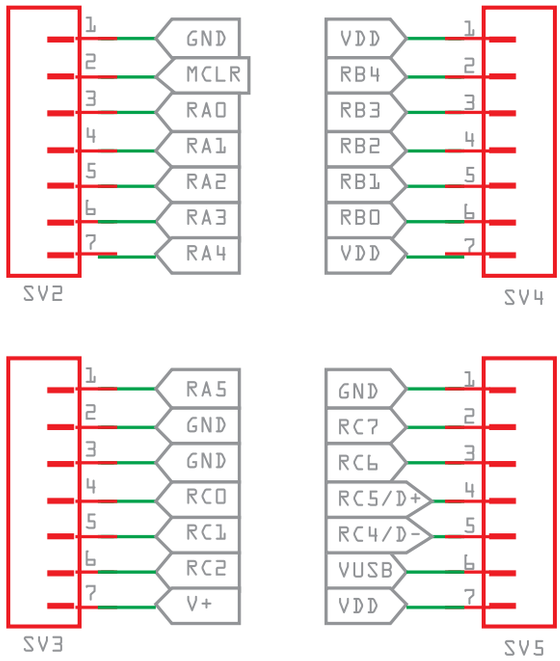


Mikrokontrollerin ohjelmointiliityntä, jota kautta se ohjelmoidaan ohjelmointilaitteella

Microchip:in mikrokontrollereita ohjelmoidaan PICkit3-ohjelmointilaitteella.

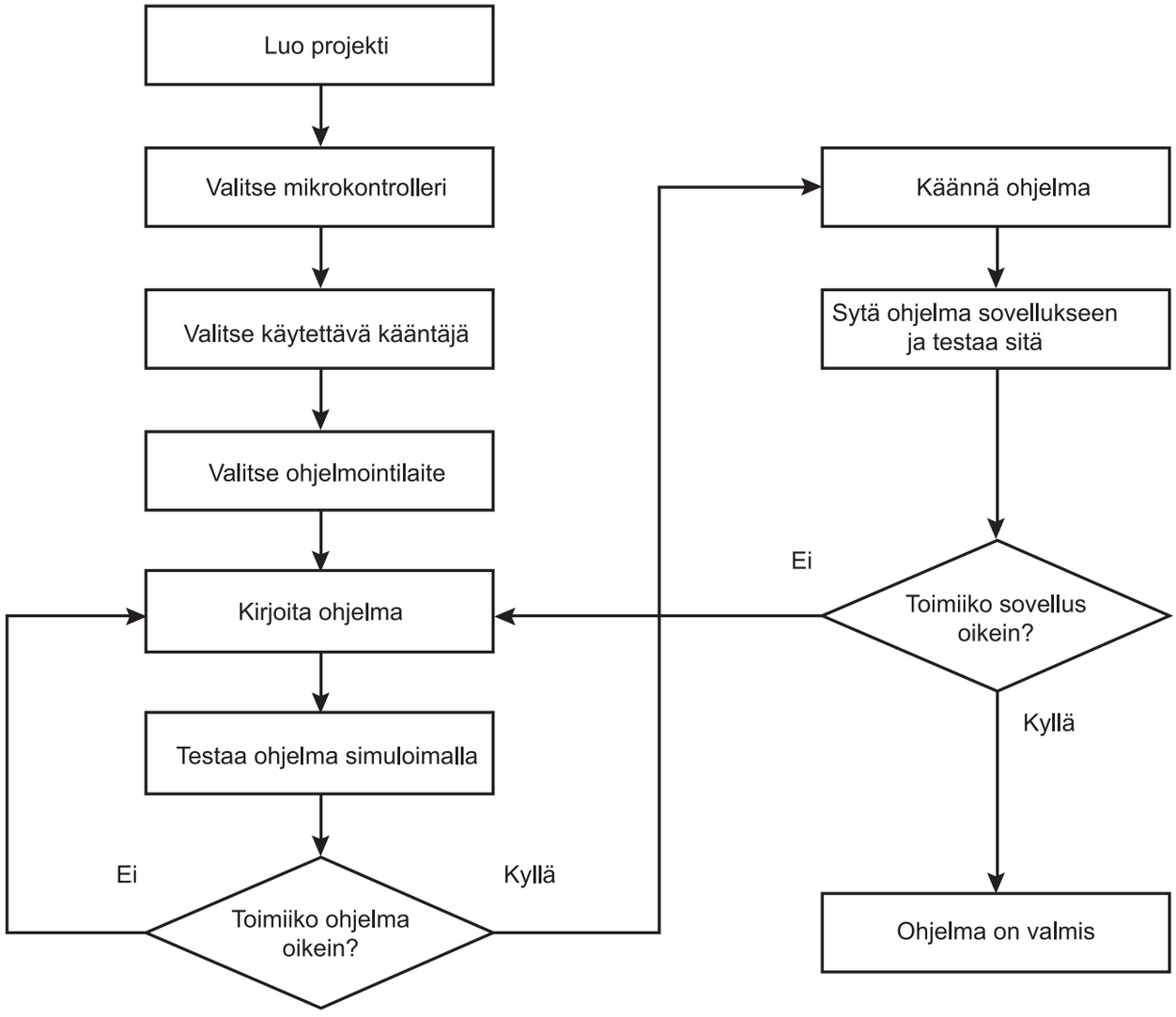
leri ei nollaudu, kun ohjelmointilaite ei ole kytkettynä laitteeseen. Lisäksi mikrokontrolleria pystyy ohjelmoimaan kahdella eri tavalla: laittamalla mikrokontrollerin ohjelmointilaitteeseen tai PICkit 3:lla mikrokontrollerin ollessa kiinni sovelluksessa. Ohjelmointitapa valitaan pinnillä PGM, joka PICkit 3:a käytettäessä pitää vetää vastuksen (R2) avulla maihin.

Nyt käytettävissä on ohjelmoitava mikrokontrolleriympäristö ja kaikki muu, mitä mikrokontrolleriin kytketään, riippuu rakennetun laitteen käyttötarkoituksesta. Jos halutaan, voidaan kaikki loput mikrokontrollerin pinneistä laittaa menemään liittimille. Näin koossa on kaikki pakollinen, mitä mikrokontrolleri toimiakseen tarvitsee, ja kaikki jäljellä olevat I/O-pinnin ovat helposti käytettävissä haluttuun tarkoitukseen.



▲ Demokortissa loput vapaat mikrokontrollerin pinnit kytketään liittimille, jolloin niihin on helppo kytkeä asioita omissa kokeiluissa.

Yleistä mikrokontrollerin ohjelmoinnista



▲ Vuokaavio ohjelman kirjoitusprosessista

Mikroprosessorin ohjelmointiin tarvitaan ohjelmiston kehitysympäristö ja ohjelmointiliityntä. Ohjelmiston kehitysympäristö käsittää työkalut ohjelmakoodin kirjoittamiselle ja ohjelman syöttämiselle ohjelmointiliitynnän kautta sovellukseen. Ohjelma kirjoitetaan aina tietylle mikroprosessorille tai mikroprosessoriperheelle. Usein kehitysympäristöt mahdollistavat myös ohjelman testaamisen simuloimalla. Ohjelman kirjoittamisprosessi sisältää aina seuraavat askeleet:

1. Luo projekti.
Tämä vaihe sisältää projektin tiedostoille varattavien hakemistojen määrittämisen. Joissakin kehitysympäristöissä tämä tehdään ensimmäisenä ja toisissa

vasta myöhemmin. Joka tapauksessa mikrokontrollereiden kehitysympäristöissä työskennellään aina jossakin kansiossa ja usein hyödynnetään tiedostoja valmistajan tarjoamista kirjastokansioista.

2. Valitse mikrokontrolleri.
Erityyppiset mikroprosessorit ovat erilaisia rakenteeltaan ja käskyiltään, joita ne osaavat suorittaa. Tästä syystä kehitysympäristölle on kerrottava, millaiselle mikroprosessorille ohjelmakoodi on kirjoitettu.

3. Valitse kääntäjä.
Kääntäjä määrää, mitä ohjelmointikieltä käytetään. Ohjelman kirjoittamiseen on useita eri kieliä, joista yleisimmin käytettyjä ovat C tai C++. Joissakin kehitysympäristöissä ohjelman pystyy kuvaamaan myös graafisesti vuokaavioiden tai prosessikaavioiden avulla.

4. Valitse ohjelmointiliityntä.
Ohjelmointiliitynnän kautta ohjelma syötetään mikrokontrollerille. Kehitysympäristön on tiedettävä, millainen laite tietokoneen ja mikroprosessorin välille on kytketty ohjelman syöttämistä varten.

5. Kirjoita ohjelma.
Ohjelman kirjoittamisen voidaan ajatella olevan halutun toiminnallisuuden kuvaamista ohjelmointikielellä. Kääntäjä määrittää, mitä kieltä kyseisessä kehitysympäristössä käytetään, joten kielen kielioppiin ja rakenteisiin liittyvät ohjeet löytyvän kääntäjän manuaaleista. Myös mikrokontrollerin ja sovelluksen rakenne vaikuttavat ohjelmointiin. Tiedot näistä löytyvät mikroprosessorin ja sovelluksessa käytettyjen muiden komponenttien datalehdistä.

6. Testaa ohjelmaa simuloimalla ja palaa tarvittaessa kohtaan 5.
Kehitysympäristöt tarjoavat joskus myös mahdollisuuden kokeilla ohjelman toimivuutta simuloimalla. Tämä tarkoittaa sitä, että kehitysympäristössä on jokin tapa mallintaa käytettyä mikroprosessoria ja sen ympäristöä niin, että kirjoitettua koodia pystytään ajamaan ja mikrokontrollerin tuloihin pystytään syöttämään ja sen lähdöistä pystytään lukemaan arvoja. Jos ohjelma ei testeissä toimi oikein, sitä on muutettava ja testattava uudelleen. Tätä jatketaan, kunnes ohjelma toimii halutusti. Jos kehitysympäristö ei tue simulointia, tämä vaihe ohitetaan.

7. Käännä ohjelma.
Kun ohjelma on korjattu kehitysympäristössä toimivaksi, se käännetään mikrokontrollerin ymmärtämään muotoon. Kääntämisellä tarkoitetaan prosessia, jossa ihmisen ymmärrettävällä ohjelmointikielellä kirjoitettu ohjelma muutetaan sovelluksessa olevan mikrokontrollerin ymmärtämään muotoon.

8. Syötä ohjelma sovellukseen, testaa sen toimivuutta ja palaa tarvittaessa kohtaan 4.

Käännöksessä luotu tiedosto on kuva ohjelmamuistista, joka pystytään sellaisenaan syöttämään sovelluksen ohjelmamuistiin. Jos koodi on pystytty kokonaan testaamaan simuloinneissa, ohjelma alkaa heti toimia oikein ja sovellus on toimiva. Valitettavan usein simulointi ei kuitenkaan ole kattava eikä ohjelma toimi lopullisessa sovelluksessa. Varsinkin jos kyseessä on itse tehty laite, vika voi olla ohjelman lisäksi myös laitteessa itsessään. Tässä vaiheessa siis tutkitaan erilaisin mittauksin, miksi sovellus ei toimi, tehdään ohjelmaan tai laitteeseen tarvittavat muutokset ja testataan toimivuutta uudelleen. Vaiheita 5–8 toistetaan, kunnes sovellus toimii halutusti.

Mikrokontrollerin ohjelmoinnin aloittaminen

Mikrokontrollerin ohjelmointi aloitetaan tekemällä ohjelmointiympäristön perusasetukset. Usein tämä vaihe menee joka kerta samalla tavalla, ja siksi monesti sitä pystyykin helpottamaan ottamalla osan asetuksista jostakin vanhasta projektista. Perusasetusten tekeminen kattaa ohjelmoinnin viisi ensimmäistä vaihetta:

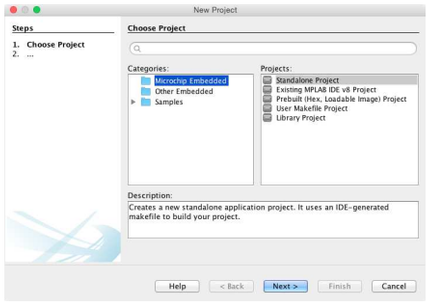
1. Luo projekti.
2. Valitse mikrokontrolleri.
3. Valitse kääntäjä.
4. Valitse ohjelmointiliityntä.
5. Kirjoita ohjelma (ei tietenkään koko ohjelmaa vaan tietyt osat ohjelmasta, jotka ovat aina samanlaiset).

Mikrokontrollerien ohjelmointiin tarvitaan kehitysympäristö. Jokaisella mikrokontrollerivalmistajalla on omat kehitysympäristönsä. Tässä esimerkissä käytetään Microchipin omaa kehitysympäristöä ja kääntäjää. Lataa ja asenna Microchipin kotisivulta seuraavien ohjelmien uusimmat versiot:

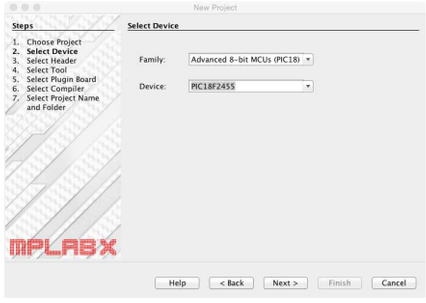
- MPLAB X IDE
- XC8.

MPLAB X IDE on Microchipin oma kehitysympäristö, ja XC8 on Microchipin oma kääntäjä 8-bittisille mikrokontrollereille. Kääntäjiä ovat myös XC16 ja XC32, jotka ovat Microchipin kääntäjiä 16- ja 32-bittisille mikrokontrollereille. Microchipin kaikille ohjelmille on saatavilla harrastelijakäyttöön tarkoitettu ilmainen lisenssi.

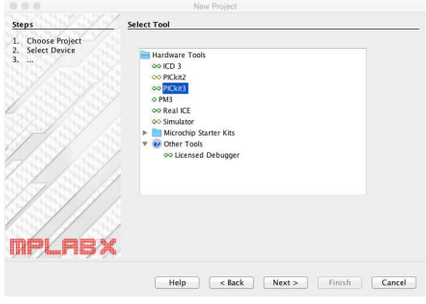
Kun olet asentanut ohjelmistot, käynnistä MPLAB X IDE. Valitse valikoista ”File->New Project…”, jolloin projektinluontiohjelma käynnistyy.



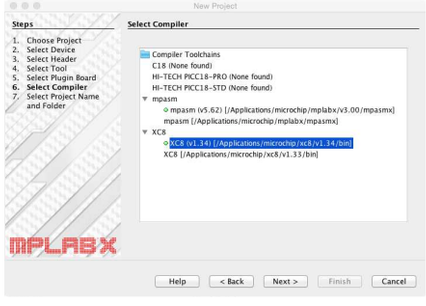
Vaihe 1. Valitaan projektin muoto. Valitse ”Microchip Embedded” ja ”Standalone Project”, minkä jälkeen paina ”Next”.



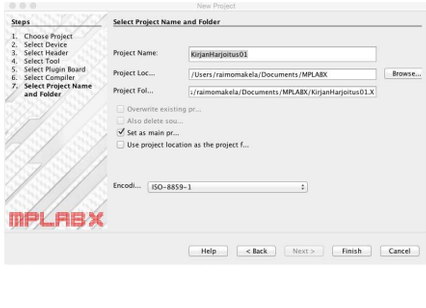
Vaihe 2. Valitaan mikrokontrolleri, jota ohjelmoidaan. Valitse mikrokontrolleriperheeksi ”Advanced 8-bit MCUs (PIC18)” ja mikrokontrolleriksi ”PIC18F2455”, minkä jälkeen paina ”Next”.



Vaihe 3. Valitaan käytettävä ohjelmointilaite. Valitse ”PICkit3” ja paina ”Next”.



Vaihe 4. Valitaan käytettävä kääntäjä. Valitse ”XC8 (vX.XX)…” ja paina ”Next”.

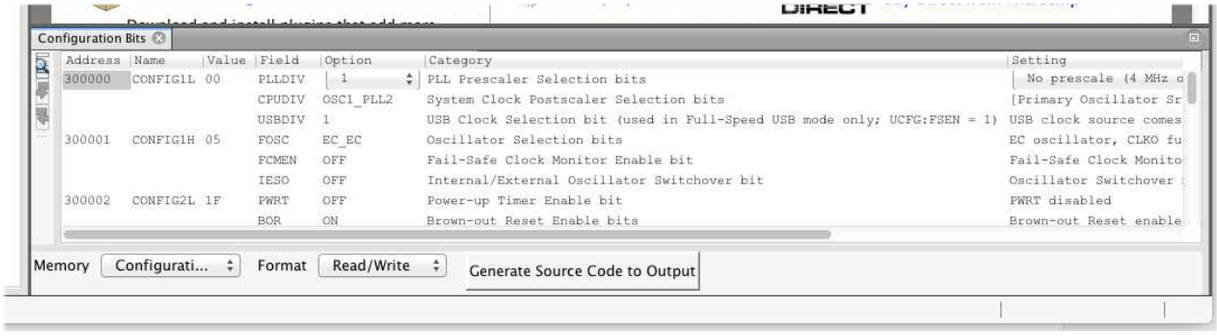


Vaihe 5. Annetaan projektille nimi ja valitaan kansio, jossa työskennellään. Kirjoita kohtaan ”Project Name:” projektin nimi ja valitse kohtaan ”Project Location” haluamasi kansio ”Browse…”-toiminnolla. Ohjelma luo näiden perusteella automaattisesti projektikansion, jota halutessasi voit muuttaa kohdassa ”Project Folder”. Varmista vielä, että ”Set as main project” on valittuna, ja paina ”Finnish”.

Tässä vaiheessa projektin perusasetukset ovat kunnossa eli kehitysympäristölle on kerrottu,

- millaisesta projektista on kyse
- mitä mikrokontrolleria käytetään
- mitä laitetta käytetään ohjelman syöttämiseen mikrokontrollerille
- mitä kääntäjää käytetään ohjelman kääntämisessä
- mikä on projektin nimi ja missä kansiossa työskennellään.

Seuraavaksi tehdään mikrokontrollerin konfigurointiasetukset. PIC-mikrokontrollereissa konfiguroidaan bittejä, joilla säädetään mikrokontrollerin heti käynnistyksen jälkeen voimassa olevia asetuksia. MPLAB X IDE:stä näiden asettamista varten on oma ikkunansa, jonka saa auki valikosta. Valitsemalla valikosta ”Window->PIC Memory Views->Configuration Bits” aukeaa pääikkunan alareunaan seuraavanlainen ikkuna:

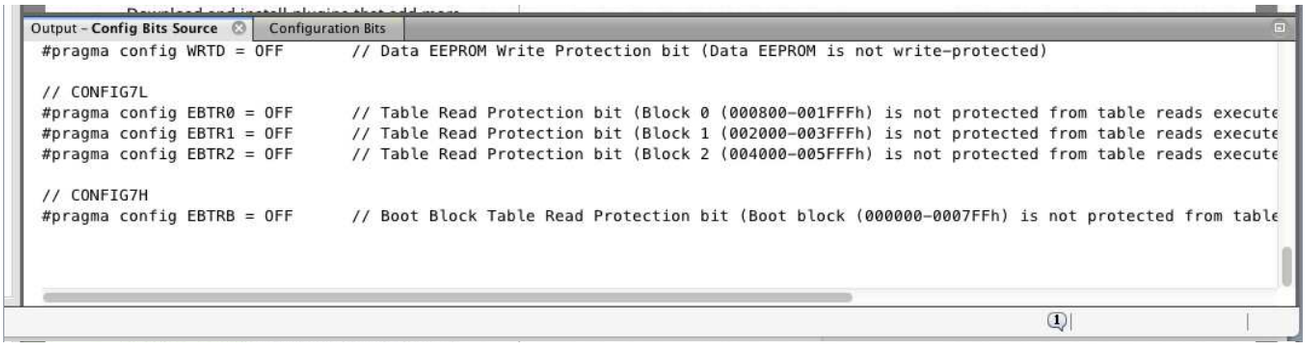


▲ ”Configuration Bits” -ikkunasta pystyy muokkaamaan mikrokontrollerin asetuksia, kuten kellolähdettä.

Kuten käy ilmi, täältä pystyy tekemään monenlaisia asetuksia, joita voit kokeilla omissa projekteissasi. Tätä projektia varten varmista, että sinulla on seuraavat asetukset:

Field	Option	Selitys
FOSC	HS	Asetetaan kide käyttöön. Aseta HS, jos kiteen taajuus on vähintään 4 Mhz. Muuten aseta XT.
WDT	OFF	Asetetaan vahtikoira pois käytöstä. Vahtikoira keskeyttää mikrokontrollerin toiminnan, ellei sitä välillä kuitata. Tätä käytetään käyttöjärjestelmän jumeista toipumiseen, eikä sille ole toistaiseksi käyttöä.
MCLRE	ON	Mahdollistetaan prosessorin nollaaminen MCLR-pinnin kautta.
LVP	ON	Mahdollistetaan ohjelmoiminen, kun prosessori on kiinni järjestelmässä.

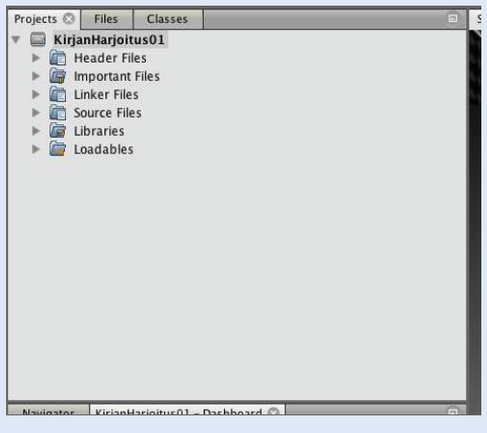
Voit vielä varmistaa, että kaikki koodien suojaukset ovat pois käytöstä (OFF). Kun kaikki on valmista, paina ”Generate Source Code to Output”, jolloin pääikkunan alareunaan ilmestyy seuraavan näköinen ikkuna:



Asetuksista generoidaan C-ohjelmointikielisiä rivejä, jotka tallennetaan tiedostoon ja sisällytetään omaan koodiin.

Paina tämän ikkunan päällä hiiren oikealla näppäimellä, valitse ”Save As…” ja tallenna konfiguroinnit projektikansioosi ”conf.h”-nimiseen tiedostoon. Nyt mikrokontrollerin konfiguroinnit on tehty ja tallennettu.

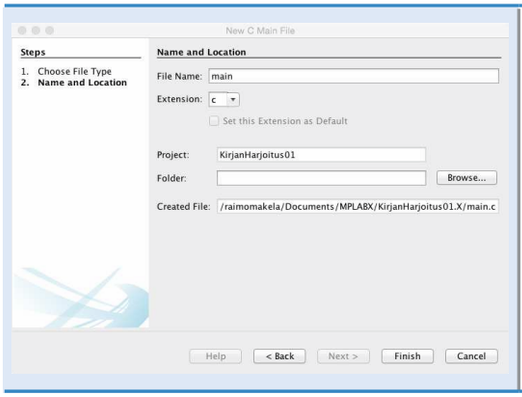
MPLAB X IDE:ssä on projekti-ikkuna, jonka avulla pystyy hallinnoimaan projektin tiedostoja. Ikkuna on seuraavanlainen:



Projekti-ikkunassa jokainen auki oleva projekti on jaettu kansioihin. Näistä käyttäjän kannalta tärkeimpiä ovat ”Header Files” ja ”Source Files”.

”Header Files” -kansioon laitetaan kaikki käyttäjän omat otsikkotiedostot, jotka tunnistaa ”.h”-päätteestä. Äsken juuri loit yhden oman otsikkotiedoston nimellä ”conf.h”, ja se lisätään nyt tähän kansioon. Paina hiiren oikealla korvalla ”Header Files” -kansion päällä ja valitse ”Add Existing Item…”. Etsi ja valitse ”conf.h”-tiedosto ja paina ”Select”.

”Source Files” -kansioon laitetaan kaikki käyttäjän omat lähdekooditiedostot, jotka tunnistaa ”.c”-päätteestä. Luodaan sinne nyt uusi päätiedosto nimellä ”main.c”. Paina hiiren oikealla korvalla ”Source Files” kansion päällä ja valitse ”New->C Main File…”, jolloin avautuu seuraavanlainen ikkuna:



Kirjoita kohtaan ”File Name:” tiedoston nimeksi ”main”, anna muiden olla oletusarvoisina ja paina ”Finnish”.

Ohjelma generoi automaattisesti seuraavanlaisen lähdekoodin:

```
1 /*
2 * File:   main.c
3 * Author: raimomakela
4 *
5 * Created on 4. kesäkuuta 2015, 16:41
6 */
7 #include <stdio.h>
8 #include <stdlib.h>
9 /*
10*
11*/
12int main(int argc, char** argv) {
13
14    return (EXIT_SUCCESS);
15}
```

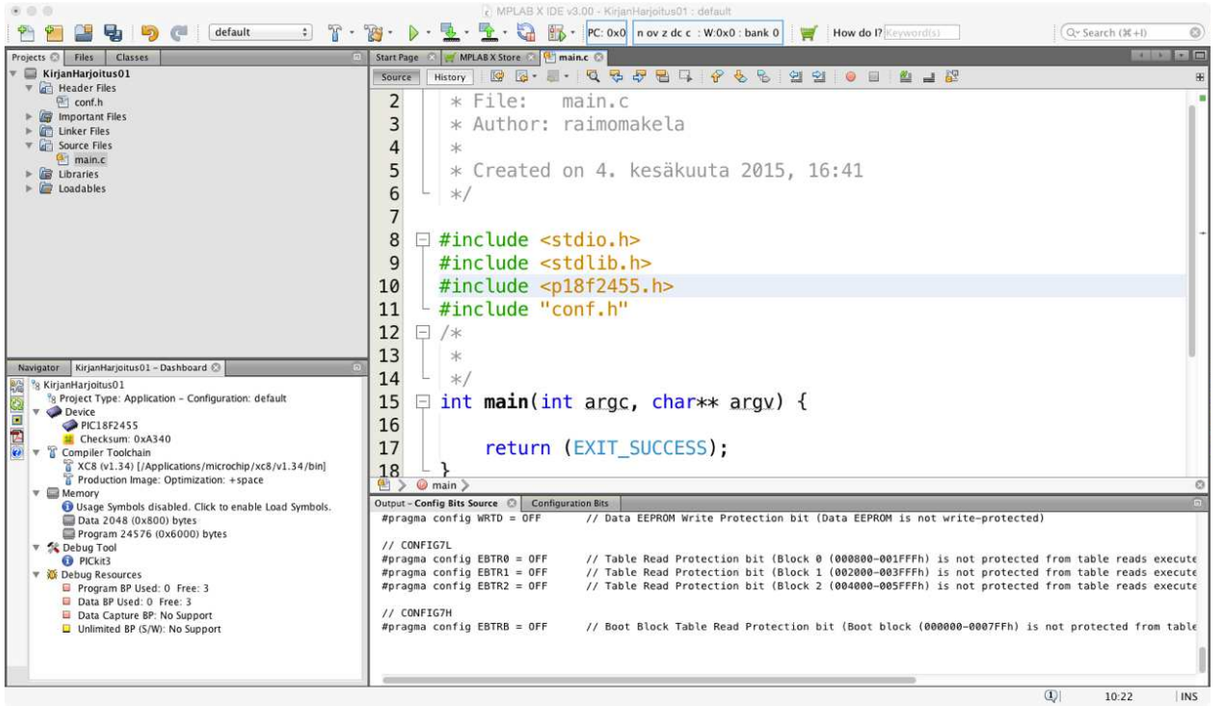
Rivit 1–6 ja 9–11 ovat kommentteja, jotka eivät vaikuta ohjelmaan mitenkään vaan ovat informaatiota koodin lukijalle. Riveillä 7 ja 8 koodiin sisällytetään otsikkotiedostoja. ”stdio.h”- ja ”stdlib.h”-otsikkotiedostot tuovat käyttöösi joitakin standardi-c-kielen perusfunktioita. Koodin lopussa on pääfunktio (int main(…)), jonka runko on kaarisulkeiden välissä ({runko}). Tällä hetkellä koodi sisältää vain funktion lopetuksen (return (EXIT_SUCCES);).

Tehdään nyt hieman omaa koodia ja sisällytetään siihen uusia otsikkotiedostoja valmiiden alle seuraavasti:

```
...

7  #include <stdio.h>

8  #include <stdlib.h>

9  #include <p18f2455.h>

10 #include ”conf.h”

...
```

Ensimmäinen lisätty rivi (Rivi 9) sisällyttää koodiisi tiedot käyttämäsi mikrokontrollerin ominaisuuksista, kuten tiedot rekisterien nimistä. Toinen lisätty rivi taas sisällyttää koodiisi aiemmin tekemäsi konfiguroinnit.

Nyt ympäristösi on alustettu valmiiksi ja voit aloittaa sovelluksen toimintaa kuvaavan koodin kirjoittamisen. Kaikki, mitä tähän saakka on tehty, pitää siis tavalla tai toisella tehdä, jotta kehitysympäristö osaa kääntää kirjoittamasi koodin oikein. Tällä hetkellä MPLAB X IDE:n ikkunan pitäisi näyttää suurin piirtein seuraavalta:



▲ Näkymä ohjelmaikkunasta asetusten tekemisen jälkeen

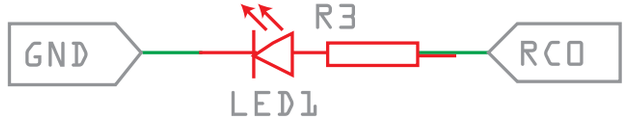
Lähtöjen ja tulojen käyttäminen

Melkein mitä tahansa mikrokontrollerin pinniä voi käyttää digitaalisena lähtönä tai tulona. Pinneistä on muodostettu ryhmiä, joita kutsutaan porteiksi. Jokaiselle portille on kolme rekisteriä, joilla sitä operoidaan:

- TRIS-rekisteri, jolla ohjataan portin suuntaa
- LAT-rekisteri lähtöjen ohjaamista varten
- PORT-rekisteri, josta pystyy lukemaan tulojen tilan.

Ledien käyttäminen

Kokeillaan ledin käyttöä tekemällä protokortille seuraava kytkentä:



Led kytkettynä etuvastuksen kanssa pinniin RC0

Led on kytketty mikrokontrollerin pinniin RC0, joka on yksi yleiskäyttöisistä digitaalisista I/O-pinneistä. Led kannattaa nimetä myös ohjelmassasi, jolloin ohjelmakoodista tulee luettavampi. Tämä tapahtuu kirjoittamalla pääfunktion yläpuolelle seuraava ohjelmarivi:

```
#define LED LATCbits.LATC0
```

Nyt portin C bitille RC0 on annettu nimeksi LED. Seuraavaksi määritellä kyseinen bitti lähdöksi. Tämä tapahtuu kirjoittamalla pääfunktion alkupuolelle seuraava rivi:

```
TRISCbits.RC0=0;
```

Periaatteessa rivin voi kirjoittaa mihin tahansa koodissa, kunhan se on jonkin funktion rungossa ja sen tulee olla ennen koodia, jossa lähtöön kirjoitetaan. Sitten led sytytetään kirjoittamalla sitä ajavaan lähtöön ykkönen. Se tehdään kirjoittamalla jonkin funktion, tässä tapauksessa pääfunktion, runkoon seuraava rivi:

```
LED=1;
```

Vastaavasti ledin voi sammuttaa kirjoittamalla sitä vastaavaan lähtöön nollan komennolla

```
LED=0;
```

Näin pystyt lisäämään sovellukseesi merkkivaloja, jotka syttyvät jonkin asian merkiksi, tai tehdä muuten vain erilaisia ledin vilkutussysteemejä.

Ledin vilkuttaminen halutulla taajuudella on usein hyvä testi prosessorin konfiguroinneille. Tätä varten tarvitset viivefunktion, jonka avulla pystyy tekemään halutun mittaisia viiveitä. XC8-kääntäjän mukana tulee kirjasto, joka sisältää esimerkiksi millisekuntien mittaisten viiveiden tekemisen. Tätä varten sisällytä koodiisi seuraava kirjasto:

```
#include <xc.h>
```

Tämä kirjasto sisältää funktion `__delay_ms(X)`, joka luo X millisekunnin viiveen. Funktion käyttäminen vaatii, että sille kerrotaan, mikä on käytössä oleva kellotaajuus. Esimerkiksi kellotaajuuden ollessa 4 MHz tätä varten kirjoitetaan seuraava ohjelmarivi, joka tulee samaan paikkaan kuin muutkin vastaavat ohjelmarivit:

```
#define _XTAL_FREQ 4000000
```

Kirjaston funktiolla on rajoituksia viiveiden pituuden suhteen, jotka tulevat yllättävän pian vastaan. Tätä varten kannattaa kirjoittaa oma funktio, jonka avulla pystyy luomaan pitkiäkin viiveitä. Kirjoitetaan ensin funktion esittely, joka tulee ennen pääfunktiota, seuraavasti:

```
void delay_ms(unsigned int);
```

Sitten kirjoitetaan pääfunktion jälkeen viive funktiollemme määrittely seuraavasti:

```
void delay_ms(unsigned int delay) {
 for(unsigned int i=0;i<delay;i++)
          __delay_ms(1);
     }
```

Nyt esimerkiksi puolen sekunnin viive saadaan aikaiseksi kutsumalla funktiotamme seuraavasti:

```
delay_ms(500);
```

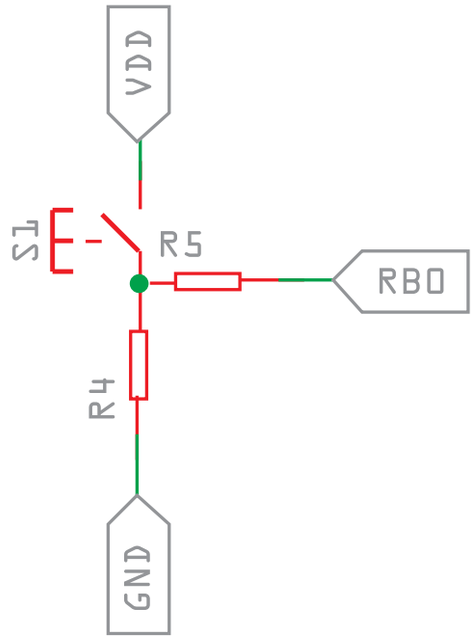
Seuraavassa on pieni koodiesimerkki, jossa lediä vilkutetaan yhden hertsin taajuudella. Tämän yksinkertaisen koodin avulla voit helposti opiskella, miten mikrokontrolleri suorittaa koodia. Muuta koodissa viiveiden pituuksia ja lisää uusia koodirivejä, joissa sytytät ja sammutat ledin sekä aiheutat eri mittaisia viiveitä. Kokeile syöttämällä koodisi mikrokontrollerille, miten muutoksesi vaikuttaa sen toimintaan. Yritä saada mikrokontrolleri tekemään vaikkapa morsetusta. Voit myös kytkeä mikrokontrolleriisi uusia ledejä johonkin toisiin pinneihin ja koettaa saada ne toimimaan. Kokeile, osaatko tehdä Ritari Ässän auton keulalla olevan tutkavalon.

Tällaista kokeilua kannattaa tehdä kaikkien tämän kirjan koodiesimerkkien kanssa. Mikrokontrolleri on ohjelmoitava mikropiiri jonka toiminnan pystyy oikeasti ymmärtämään vain kirjoittamalla itse sille ohjelmia. Aluksi kannattaa lähteä yksinkertaisesta liikkeelle. Taitojen karttuessa oppii hallitsemaan monimutkaisempiakin järjestelmiä.

```
/*
* File:   main.c
* Author: raimomakela
*
* Created on 4. kesäkuuta 2015, 16:41
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <p18f2455.h>
#include ”conf.h”
#include <xc.h>
#define _XTAL_FREQ 4000000
#define LED LATCbits.LATC0
void delay_ms(unsigned int);
int main(int argc, char** argv) {
  TRISCbits.RC0=0;
  while(1){
    LED=0;
    delay_ms(500);
    LED=1;
    delay_ms(500);
  }
}
void delay_ms(unsigned int delay) {
  for(unsigned int i=0;i<delay;i++)
    __delay_ms(1);
}
```

Painonappien toteuttaminen

Painonappia varten tarvitaan seuraavanlainen kytkentä:



Kytkentä painonappia varten. Kun nappi ei ole painettuna, vastus R4 vetää pinnin RB0 maihin, ja kun nappi on painettuna, RB0 vedetään napin avulla käyttöjännitteeseen.

Kytkennän idea on ajaa mikrokontrollerin pinniä käyttöjännitteeseen (looginen tila 1) tai maahan (looginen tila 0) sen mukaan, onko nappia painettu vai ei. Kun nappia ei ole painettu, vastus R4 vetää mikrokontrollerin pinnissä RB0 jännitteen 0 V:iin. Nappia painettaessa muodostuu kytkimen kautta yhteys käyttöjännitteeseen ja pinnin RB0 jännite kasvaa 5 V:iin. Kun nappi jälleen vapautetaan, pienenee pinnin RB0 jännite vastuksen R4 ansiosta 0 V:iin. Vastuksen R5 tarkoituksena on suojata mikrokontrollerin pinniä, jos se on vahingossa ohjelmoitu lähdöksi. Hyvä arvo vastukselle R4 on noin 10 kilo-ohmia ja vastukselle R5 noin 1 kilo-ohmi.

Painonappi on siis kytketty pinniin RB0, joka on yksi yleiskäyttöisistä I/O-pinneistä. Nimetään painonappi myös ohjelmassa kirjoittamalla seuraava ohjelmarivi samaan paikaan kuin aiemminkin LED:n yhteydessä:

```
#define Nappi PORTBbits.RB0
```

Nyt portin B bitille RB0 on annettu nimeksi Nappi. Seuraavaksi määritellään kyseinen bitti tuloksi. Kuten LED:n yhteydessä tämä tehdään kirjoittamalla pääfunktion alkupuolelle seuraava rivi:

```
TRISBbits.RB0=1;
```

Huom.! Nyt TRIS-rekisteriin kirjoitettiin ykkönen, joten jos pinni halutaan

- lähdöksi, kirjoitetaan portin TRIS-rekisteriin ”0”
- tuloksi, kirjoitetaan portin TRIS-rekisteriin ”1”.

Nyt kirjoitetaan pääfunktion sisälle yksinkertainen koodi, joka sytyttää ledin, kun nappi on painettuna pohjaan, ja sammuttaa sen, kun nappi on vapautettu. Koodi näyttää seuraavalta:

```
...
1 while(1){   // Nappia tarkkaillaan toistuvasti joten
2             // käytetään ”ikuista” silmukkaa
3   if(Nappi==1)      // Tarkistetaan onko nappi painettu
4       LED=1;        // Nappi on painettu jolloin led
5                     // sytytetään
6   else              // Muussa tapauksessa nappia ei ole
7       LED=0;        // painettu joten led sammutetaan
```

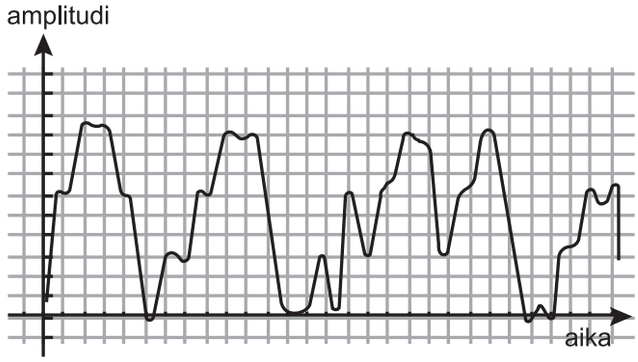
Riviltä 1 alkaa ”while”-toistorakenne, jonka tarkoituksena on toistaa näppäimen tilan lukemista niin kauan kuin laitteessa on virta. Rivillä 3 luetaan näppäimen tila ja ehtorakenteessa tarkistetaan, onko se ykkönen. Jos (if) se on ykkönen, nappia on painettu ja led sytytetään. Muussa tapauksessa (else) nappia ei ole painettu ja led sammutetaan.

Tämä oli siis yksinkertainen esimerkki siitä, kuinka järjestelmä saadaan reagoimaan painonapin painalluksiin. Tässä vaiheessa ohjelmakoodisi näyttää ilman kommenttirivejä seuraavalta:

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <p18f2455.h>
4 #include ”conf.h”
5
6 #define LED LATCbits.LATC0
7 #define Nappi PORTBbits.RB0
8
9 int main(int argc, char** argv) {
10  TRISCbits.RC0=0;
11  TRISBbits.RB0=1;
12  while(1){
13      if(Nappi==1)
14            LED=1;
15      else
16            LED=0;
17  }
18}
```

Analogisten jännitteiden käyttäminen mikrokontrollerilla

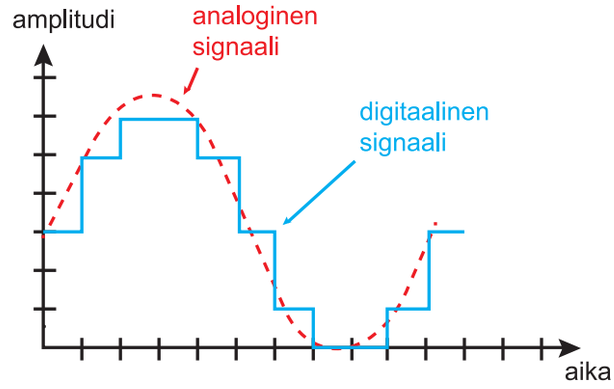
Analoginen signaali sisältää mitatun informaation sellaisenaan. Analoginen signaali on ajassa muuttuva jännite, joka ei tee äkillisiä muutoksia arvosta toiseen, eli se on jatkuva. Seuraavassa on kuva analogisesta signaalista.



Kuvassa on analoginen signaali. Signaalit esitetään usein kaaviona, missä x-akselilla on aika, joka kasvaa oikealle mentäessä, ja y-akselilla on jännite, joka kasvaa ylöspäin mentäessä.

Elektroniikkaa, joka muokkaa analogisia signaaleja, kutsutaan analogiaelektroniikaksi. Tyypillisiä analogisia laitteita ovat erilaiset suodattimet ja vahvistimet.

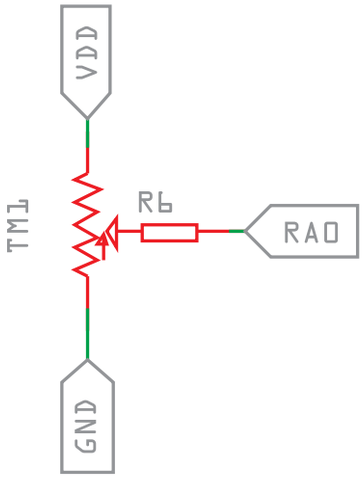
Digitaalisessa signaalissa informaatio on lukuina. Jotta analogista signaalia pystytään käsittelemään digitaalisena, on tehtävä A/D-muunnos. Seuraavassa on kuva A/D-muunnoksesta.



A/D-muunnoksessa analogisesta signaalista otetaan tietyin aikavälein näytteitä. Näin muodostuu sarja lukuja, jotka muodostavat digitaalisen signaalin. D/A-muunnoksessa tämä lukusarja muunnetaan takaisin analogiseksi signaaliksi.

Säätövastus

Ensimmäisellä kerralla A/D-muuntimen toimintaa on kätevä kokeilla säätövastuksen avulla. Rakennetaan mikrokontrollerikortille seuraava kytkentä:



Säätövastuksella voidaan tehdä jännitejako, joka muodostaa pinniin RA0 jännitteen maan ja käyttöjännitteen väliltä. Jännite on riippuvainen säätövastuksen ruuvin asennosta.

Kytkennän tarkoituksena on muodostaa mikrokontrollerin pinniin RA0-säätövastuksen (TM1) avulla jännite, joka voi olla mikä tahansa 0 ja 5 V:n välillä. Vastuksen R6 tarkoituksena on jälleen suojella mikrokontrolleria, jos pinni RA0 on vahingossa ohjelmoitu lähdöksi.

A/D-muuntimen käyttäminen jakautuu kahteen vaiheeseen: muuntimen alustamiseen ja muunnoksen tekemiseen. Muunnin alustetaan vain kerran pääfunktion alussa ja muunnosta tehdään aina tarvittaessa. Kirjoitetaan näitä varten omat funktionsa, jotka esitellään kirjoittamalla seuraavat koodirivit ennen pääfunktiota:

```
void ADC_alustus(void);
int ADC_luku_i(void);
```

Tämän jälkeen kirjoitetaan esiteltyjen funktioiden määrittelyt, jotka voi nyt kirjoittaan koodin loppuun pääfunktion jälkeen. Ensimmäinen funktio tekee A/D-muuntimen alustuksen, ja sen määritelmä näyttää seuraavalta:

```
void ADC_alustus(void){
  TRISAbits.RA0=1;          // Asetetaan pinnin suunta
  ADCON1bits.VCFG=0;        // Asetetaan jännitereferenssit
  ADCON1bits.PCFG=0b1110;   // Valitaan analogiset pinnit
  ADCON2bits.ACQT=0;        // Valitaan asettumisaika
  ADCON2bits.ADCS=0b100;    // Valitaan A/D-muunnoksen kellotaajuus
  ADCON0bits.ADON=1;        // Käynnistetään muunninmoduuli
}
```

Funktion nimen edessä oleva ”void” kertoo, ettei se palauta mitään. Funktion nimen jäljessä suluissa oleva ”void” taas kertoo, ettei funktio tarvitse mitään parametreja. Kaarisulkeissa ”{…}” on koodi, joka suoritetaan, kun funktiota kutsutaan. A/D-muuntimen käyttöä varten täytyy tehdä seuraavat asiat:

1. Määritellään TRIS-rekisterin avulla RA0-pinni tuloksi. Tämä pitää tehdä kaikille pinneille, joiden jännitteisiin A/D-muunnoksia halutaan tehdä.

2. Asetetaan jännitereferenssit, jotka määräävät suurimman ja pienimmän muunnettavan jännitteen. Tässä tapauksessa suurin jännite on käytetty käyttöjännite (VDD) ja pienin jännite on maajännite (GND).

3. Valitaan analogiset pinnit, joita tässä tapauksessa on vain RA0. Jos halutaan käyttää useampia analogisia pinnejä, ne on otettava käyttöön tietyssä järjestyksestä, ja se määrittää, mihin pinneihin pystyy kytkemään analogisen signaalilähteen. Katso tarkemmin datalehdestä.

4. Valitaan signaalin asettumisaika. Jos vaikuttaa, että muunnos antaa aina liian pientä arvoa, asettumisajan kasvattaminen voi korjata asian.

5. Valitaan muunnoksen kallotaajuus mikrokontrollerin pääkellon mukaan. Tässä tapauksessa käytetään 4 MHz:n kidettä, joka datalehden mukaan vaatii muuntimen kellotaajuudeksi FOSC/4. Katso datalehdestä käyttämääsi kellotaajuutta vastaava asetus.

6. Lopuksi käynnistetään muunninmoduuli.

Toinen funktio tekee A/D-muunnoksen ja palauttaa muunnostuloksen. Funktion määritelmä näyttää seuraavalta:

```
int ADC_luku_i(void){
  ADCON0bits.CHS=0;   // Valitaan pinni, jonka jännite
                         muunnetaan
  ADCON2bits.ADFM=1;  // Valitaan A/D-muunnoksen
                         tallennusmuoto
  GO=1;               // Käynnistetään muunnos
  while(GO == 1);     // Odotetaan muunnoksen
                         valmistuminen
  int tulos=ADRESH;   // Tallennetaan muunnos muuttujaan
  tulos=(tulos<<8)+ADRESL;
  return tulos;       // Palautetaan tulos
}
```

Tämä funktio palauttaa kokonaisluvun (int) muttei vaadi mitään parametreja. A/D-muunnos vaatii seuraavat vaiheet:

1. Valitaan muunnettavaksi analoginen jännite pinnissä RA0. Jos olet kytkenyt analogisen signaalin johonkin muuhun pinniin, voit valita sen tässä. Katso datalehdestä lisätietoa asiasta.

2. Valitaan A/D-muunnos tallennettavaksi siten, että tulos sijoittuu rekisterien oikeaan reunaan (Right justified).

3. Käynnistetään muunnos.

4. Odotetaan muunnoksen valmistumista. Prosessori suorittaa toistorakennetta niin kauan kuin GO on ylhäällä.

5. 10-bittinen muunnos tallentuu automaattisesti kahteen 8-bittiseen rekisteriin (ADRESH ja ADRESL). ADRESH:ssa on muunnoksen kaksi eniten merkitsevää bittiä ja ADRESL:ssä loput kahdeksan vähiten merkitsevää bittiä. Funktion koodi yhdistää nämä kaksi rekisterin arvoa yhdeksi kokonaisluvuksi.

6. A/D-muunnoksen tulos palautetaan funktion paluuarvona.

Nyt käytössä ovat funktiot, joiden avulla pystyt tekemän A/D-muunnoksia mikrokontrollerin pinnin RA0 jännitteestä. Aikaa myöten voit kirjoittaa monipuolisemmat funktiot, joita pystyt hyödyntämään helposti erilaisissa projekteissasi.

Seuraavaksi kirjoitetaan lyhyt koodi, joka sytyttää jo aiemmin kytkemämme ledin, kun pinnin RA0 jännite kasvaa tiettyä arvoa suuremmaksi. Koodi näyttää seuraavalta:

```
1. TRISCbits.RC0=0;
2. ADC_alustus();  // Alustetaan A/D-muunnin
3. int ADC_tulos;  // Varataan muistia AD-muunnosta varten
4. while(1){       // Tästä alkavassa silmukassa pyöritään ”ikuisesti”
5.  ADC_tulos=ADC_luku_i();  // Tehdään A/D-muunnos ja tallennetaan
6.                           // tulos muistiin
7.  if(ADC_tulos>512)        // Tarkistetaan onko muunnoksen tulos
8.                           // suurempi kuin 512
9.     LED=1;                // Tulos on suurempi ja led sytytetään
10.    else                  // Muussa tapauksessa
11.    LED=0;                // tulos on pienempi tai yhtäsuuri ja led
12.                          // sammutetaan
13. }             // ”Ikuisen” silmukan sisältö päättyy tähän
```

Rivi 1 on jo entuudestaan tuttu, eli pinni, johon led on kytketty, määritetään lähdöksi. Sitten alustetaan A/D-muunnin kutsumalla aikaisemmin määrittelemäämme alustusfunktiota. Rivillä 3 määritellään kokonaislukumuuttuja A/D-muunnoksen tuloksen tallennusta varten. Seuraavaksi käytetään tuttua ikuista silmukkaa toistamaan asioita, jotka halutaan tehdä toistuvasti.

Silmukan sisällä tehdään ensin A/D-muunnos aiemmin määrittelemämme funktion avulla ja tallennetaan funktiolta saatu tulos muuttujaan ”ADC_tulos”. Sitten ehtolauseella tarkistetaan, että jos ”ADC_tulos” muuttujan arvo on suurempi kuin 512, led sytytetään. Muussa tapauksessa led sammutetaan.

Tämä oli yksinkertainen esimerkki siitä, miten mikrokontrolleri saadaan reagoimaan tiettyyn jännitearvoon. Kokonaisuutena koodi näyttää seuraavalta:

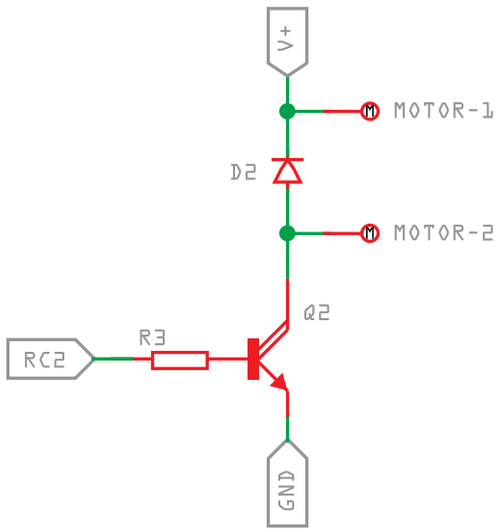
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <p18f2455.h>
#include ”conf.h”

#define LED LATCbits.LATC0

void ADC_alustus(void);
int ADC_luku_i(void);

int main(int argc, char** argv) {
  TRISCbits.RC0=0;
  ADC_alustus();      // Alustetaan A/D-muunnin
  int ADC_tulos;
  while(1){
    ADC_tulos=ADC_luku_i();     // Tehdään A/D-muunnos
    if(ADC_tulos>512)
        LED=1;
    else
        LED=0;
  }
}

void ADC_alustus(void){
  TRISAbits.RA0=1;         // Asetetaan pinnin suunta
  ADCON1bits.VCFG=0;       // Asetetaan jännitereferenssit
  ADCON1bits.PCFG=0b1110; // Valitaan analogiset pinnit
  ADCON2bits.ACQT=0;       // Valitaan asettumisaika
```

```
  ADCON2bits.ADCS=0b100;  // Valitaan A/D-muunnoksen kellotaajuus
  ADCON0bits.ADON=1;      // Käynnistetään muunninmoduuli
}

int ADC_luku_i(void){
  ADCON0bits.CHS=0;       // Valitaan pinni, jonka jännite muunnetaan
  ADCON2bits.ADFM=1;      // Valitaan A/D-muunnoksen tallennusmuoto
  GO=1;                   // Käynnistetään muunnos
  while(GO == 1);         // Odotetaan muunnoksen valmistuminen
  int tulos=ADRESH;       // Tallennetaan muunnos muuttujaan
  tulos=(tulos<<8)+ADRESL;
  return tulos;           // Palautetaan tulos
}
```

Suurten virtojen ohjaaminen mikrokontrollerilla

Mikrokontrollerin pinnin ajokyky on rajallinen, koska se jaksaa syöttää virtaa vain muutaman milliampeerin. Jotta pystyttäisiin ohjaamaan suurempia virtoja tarvitsevia laitteita, kuten teholedejä, hehkulamppuja tai moottoreita, tarvitaan kytkentä, joka vahvistaa virran riittävän suureksi. Seuraavassa esitellään kolme kytkentää, jotka soveltuvat tähän tarkoitukseen.

Esimerkeissä moottoria ajava kytkentä on kytketty mikrokontrollerin pinniin RC2. Mikrokontrolleri ohjelmoidaan samalla tavalla kuin aikaisemmin ledejä käytettäessä eli annetaan pinnille jokin hyvä nimi, TRIS-rekisterillä ohjelmoidaan pinni tuloksi ja sitten LAT-rekisterin avulla ajetaan sitä käyttöjännitteeseen tai maahan sen mukaan, mitä halutaan tehdä.



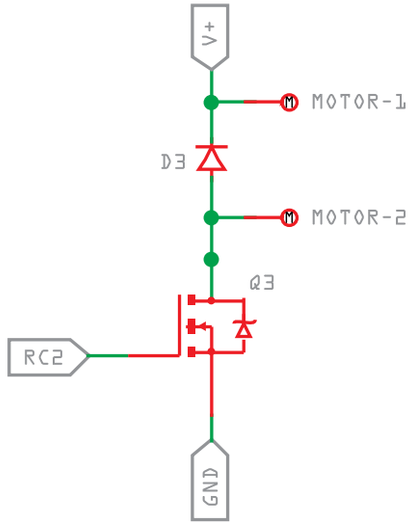
Kytkentä, jolla kuormaa ajetaan bipolaaritransistorin avulla. Diodi muodostaa polun moottorin käämin aiheuttamille induktiovirroille ja siten estää transistorin rikkoutumisen.

Ensimmäisessä kytkennässä vahvistavana komponenttina on NPN-transistori. Sopivaa transistoria valittaessa on huomioitava, että transistorin virrankes-

to on riittävä. On myös huomioitava, että mitä suurempia virtoja transistorilla halutaan ohjata, sitä enemmän virtaa tarvitaan myös mikrokontrollerin pinnistä. Oikein suuria virtoja ohjattaessa saatetaan tarvita darlington-transistoria, jonka virtavahvistus on erittäin suuri.

Kytkennässä vastuksella R3 rajoitetaan transistorin kannalle menevä virta sopivaksi. Vastuksen mitoituksessa ajatuksena on rajoittaa kannalle menevä virtaa niin, että transistori aukeaa juuri saturaatiotilaan asti, jolloin jännite kollektorilta emitterille on mahdollisimman pieni mutta mikrokontrollerilta ei oteta liian suuria virtoja. Tässä juuri on huomioitava, että jos transistori ei mene saturaatioon mikrokontrollerin pinnistä saatavalla maksimivirralla, on syytä vaihtaa transistori, jolla on suurempi virtavahvistus.

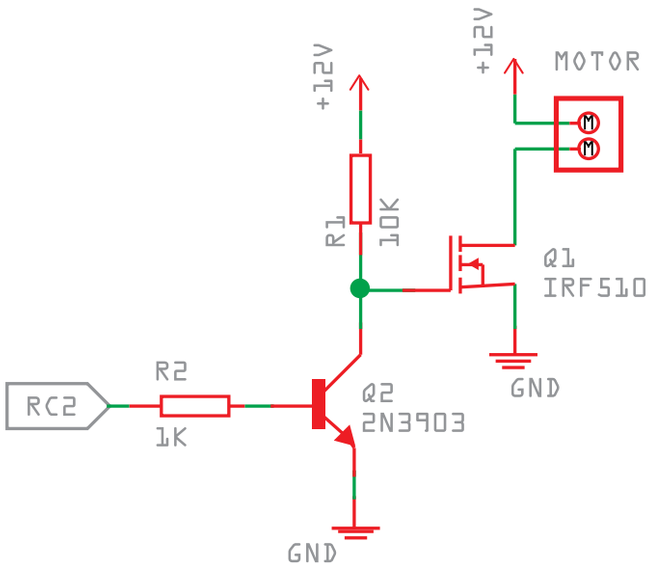
Moottori kytketään liittimeen ”MOTOR”, jonka rinnalla oleva diodi D2 muodostaa virtasilmukan moottorin kelan induktanssin aiheuttamille virroille, kun transistori äkisti suljetaan.



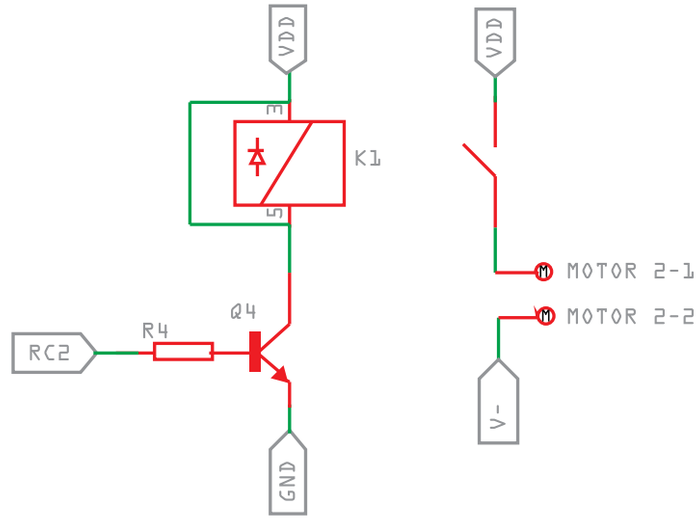
Kytkentä, jolla kuormaa ajetaan MOS-transistorin avulla

Toisessa kytkennässä vahvistavana elementtinä on MOS-transistori. Kehityksen myötä MOS-transistorien virranajokyky on parantunut, minkä ansiosta niistä on tullut vallitseva tapa kytkeä suuria virtoja tehoelektroniikassa.

MOS-transistoria valittaessa on huomioitava, että se kestää sovelluksessa tarvitun virran. Vaikkei MOS-transistorin ohjausvirtaa tarvitsekaan rajoittaa, on kuitenkin huomioitava, että sen hilakapasitanssi kasvaa virranajokyvyn kasvaessa. Hilakapasitanssi yhdessä mikrokontrollerin lähdön resistanssin kanssa aiheuttaa viiveen, joka rajoittaa sitä, kuinka nopeasti MOS-transistoria pystyy kytkemään. Jos tämä viive kasvaa liian suureksi, on syytä käyttää puskurointia hilakapasitanssin ajamiseen. Puskurointiin löytyy täysin omia mikropiirejään, mutta sen voi tehdä myös erilliskomponenteilla. Seuraavassa on yksi esimerkki tällaisesta puskuroinnista:



▲ Kytkentä erittäin suurten kuormien ajamista varten MOS-transistorilla



▲ Kytkentä, jolla kuormaa ajetaan releen avulla

Kolmannessa kytkennässä suuren virran ajamiseen on käytetty relettä. Releen etuna aikaisempiin menetelmiin nähden on, että siinä kytkettävä virtapiiri on eristetty mikrokontrollerista. Releellä kytkettävä jännite voi olla vaikkapa vaihtojännitettä. Sitä käytetäänkin erityisesti ohjelmoitavissa releissä, joissa halutaan ohjata 230 V:n vaihtojännitteitä.

TEHTÄVIÄ

1. Selvitä PIC18F2455:n datalehdestä, mikä on suurin ja pienin käyttöjännite, jolla mikrokontrolleri toimii.

2. Selvitä PIC18F2455:n datalehdestä, mikä on suurin kideoskillaattorin taajuus, jota voi käyttää mikrokontrollerin kanssa.

3. I/O-pinnien käyttöä rajoittaa niiden virranajokyky. Selvitä PIC18F2455:n datalehdestä seuraavat asiat:

   – Kuinka suuren virran pystyt saamaan yksittäisestä I/O-pinnistä?

   – Mikä on suurin virta, jonka pystyt saamaan mikrokontrollerin kaikista porteista yhteensä?

4 PIC18F2455:ssä on configurointibittejä, joista kannattaa olla tietoinen. Selvitä, mitä seuraavat konfigurointibitit tekevät:

– CCP2MX _____

– PBADEN. _____

5 Laske arvo ledin etuvastukselle, kun $V_f = 2$ V ja $I_f = 20$ mA ja jännite, jolla lediä halutaan käyttää, on

a) 12 V _____

b) 9 V _____

c) 3,3 V. _____

6 Muunna

a) binääriluku 10010111 kymmenkantajärjestelmään _____

b) binääriluku 01110101 heksadesimaalijärjestelmään _____

c) heksadesimaaliluku A7 binääriluvuksi _____

d) heksadesimaaliluku 5C kymmenkantajärjestelmään. _____

7 Kun ohjelmoinnissa halutaan binääriluvun tietyt bitit ykkösiksi tai nolliksi vaikuttamatta luvun muihin bitteihin, käytetään maskeja. Maskia käytetään siten, että luvun ja maskin vastaaville biteille tehdään sama looginen operaatio, minkä tuloksena saadaan luku, jossa haluttu muutos on tehty. Seuraavassa on kaksi maskin käyttötilannetta. Selvitä, mitä maskilla on tehty ja mitä loogista operaatiota on käytetty.

a)

Binääriluku	1	0	0	1	1	0	1	0
Maski	0	1	0	0	0	0	0	1
Tulos	1	1	0	1	1	0	1	1

_____

_____

_____

b)

Binääriluku	1	0	0	1	1	0	1	0
Maski	1	1	1	0	1	1	0	1
Tulos	1	0	0	0	1	0	0	0

_____

_____

_____

8 Talossa kaikkea ohjataan ohjelmoitavien logiikkojen avulla. Olohuoneen valaistusta varten logiikkaan tulee ohjaukset kahdelta kytkimeltä ja lähtee ohjaus olohuoneen lampulle. Millainen looginen operaatio ohjelmoitavaan logiikkaan on ohjelmoitava, jotta olohuoneen valaistus toimisi tavanmukaisen kruunukytkennän tavoin? Kruunukytkentä toimii siten, että lamppu palaa, jos jompikumpi kytkimistä on kytkettynä, ja ei pala, jos molemmat kytkimet ovat yhtaikaa kytkettyinä tai kytkemättöminä. Piirrä ensin totuustaulu, ja mieti sen perusteella, millaista porttia tarvitset.

9 PT100-vastuksen arvo on noin 80 ohmia –50 °C:ssa ja 139 ohmia +100 °C:ssa. Laitetaan PT100-vastus 100 ohmin vastuksen kanssa sarjaan siten, että PT100 on maata vasteen ja 100 ohmin vastus on kytketty 5 volttiin. Kuinka suuri jännite vastusten välissä on, kun oletetaan, että vastuksen muutoksen funktio lämpötilan suhteen on lineaarinen ja

a) lämpötila on –50 °C

b) lämpötila on +100 °C

c) lämpötila on 0 °C.

10 Edellisen tehtävän lämmönmittauskytkentää halutaan käyttää mikrokontrollerilla toteutetussa lämpömittarissa. Mikrokontrollerin A/D-muuntimen lukualuetta halutaan käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi käyttämällä 5-voltista jännitejaolla muodostettuja referenssijännitteitä muuntimen ylä- ja ala-arvoille (V_{REF+} ja V_{REF-}). Mitoita

a) E24-sarjasta vastukset jännitejakoon V_{REF+}:aa varten siten, että jännite on mahdollisimman lähellä mutta kuitenkin yli sen jännitteen, joka on PT100-vastuksen yli, kun lämpötila on +100 °C

b) E24-sarjasta vastukset jännitejakoon V_{REF}-:sta varten siten, että jännite on mahdollisimman lähellä mutta kuitenkin alle sen jännitteen, joka on PT100-vastuksen yli, kun lämpötila on –50 °C .

8 Sähköasennustekniikka

Tässä luvussa
- **käydään läpi yleisimpiä kaapeleita ja niiden merkintöjä**
- **opitaan oikeita sähköasennustapoja sekä sähköasennuksiin kuuluvia kalusteita ja niiden kytkentöjä**
- **opitaan tekemään perusvalaistuskytkennät ja kytkemään pistorasia.**

Kaapelit

Kaapelit on tarkoitettu sähkön siirtoon voimalaitoksesta kuluttajalle. Jotta sähkö saadaan siirretyksi kaikille sitä tarvitseville, tarvitaan paljon erilaisia kaapeleita. Kaapelilla tarkoitetaan ulkovaipan ympäröimää yhtä tai useampaa eristettyä johdinta. Kaapelin vaipan sisällä on yksi tai useampia johtimia.

▲ Kaapeli

▲ Johtimia

Johdin on joko yksilankainen tai useasta kupari- tai alumiinilangasta yhteen koottu. Kuparijohtimia käytetään kiinteistöasennusten kaapeleissa. Alumiinijohtimia taas käytetään lähinnä voimakaapeleissa. Kaapelin vaipan tavallisimmat eristysaineet ovat PVC-, PE- ja PEX-muovi sekä kumi.

Kuparijohtimia: yksilankainen (vas.), muutamalankainen (kesk.) ja hienolankainen (oik.)

Asennuskaapeli on kaapeli, jonka nimellisjännite on 450/750 V tai pienempi. Pelkkä johdin ilman ulkovaippaa on asennusjohdin. Voimakaapeli taas on kaapeli, jonka nimellisjännite on vähintään 0,6/1 kV. Näistä 0,6 kV on jännite maata vasten ja 1 kV on pääjännite kolmivaihejärjestelmässä. 1 kV:n kaapeli on pienjännitekaapeli, 10–20 kV:n kaapeli on keskijännitekaapeli ja sitä suuremmat kaapelit ovat suurjännitekaapeleita.

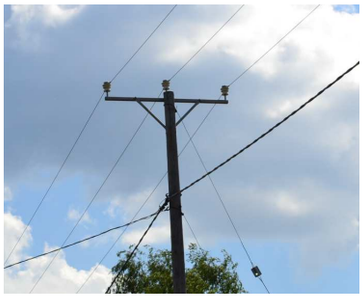
Nimellisjännite on jännite, jolla laite tai kaapeli on suunniteltu käytettäväksi.

Kolmivaihejärjestelmässä sähkö siirretään eteenpäin voimalaitokselta kolmessa eri johtimessa, joissa kussakin on samanlainen jännite. Nämä johtimet ovat usein avojohtimia. Tällä tavoin se siirtyy kuluttajalle asti.

Pääjännite on kahden vaiheen välinen jännite. Jännite maata vasten on vaiheen ja suojamaadoituksen välinen jännite.

Sähkövoimatekniikassa ei saa sekoittaa pienjännitettä suojajännitteeseen. Suojajännite on alle 50 V.

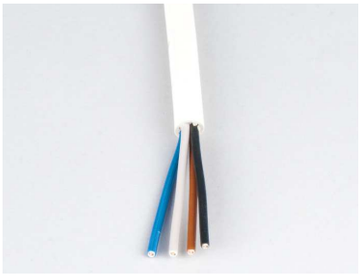
Pienjänniteverkko



Keskijänniteverkko

Suurjänniteverkko

Suojajohtimellinen kaapeli



Suojajohtimeton kaapeli

Kaapelin tulee täyttää standardin vaatimukset, jotta se on turvallinen käyttää, ja sen nimellisjännitteen pitää olla sopiva käyttökohteeseensa. Valmistaja leimaa kaapeliin merkintöjä, joista ilmenevät muun muassa kaapelin nimi, nimellisjännite, johdinten lukumäärä mahdollinen suojajohdin ja kaapelin poikkipinta-ala. Kansallisessa merkinnässä kerrotaan myös kaapelin materiaalit. Lisäksi valmistajan ohjeissa kerrotaan, minne kaapelia saa asentaa, millä asennustavoilla sitä voidaan asentaa ja mitkä ovat sen taivutussäteet vedossa ja käytössä. Kaapelia saa asentaa ja käyttää vain valmistajan ilmoittamissa lämpötiloissa ja valmistajan asennusohjeiden mukaisesti.

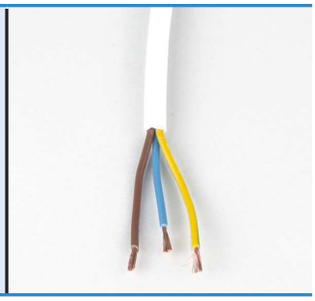
Johtimien paksuus ilmaistaan poikkipinta-alana. Johtimien poikkipinta-alojen pitää olla riittävän suuria, jotta asennus toimii kunnollisesti eikä aiheuta vaaraa. Esimerkiksi MMJ 3 x 1,5 tarkoittaa asennuskaapelia MMJ, jossa on 3 johdinta, joista kunkin poikkipinta-ala on 1,5 mm^2. Lisäkirjain N tarkoittaa, että kaapelissa ei ole suojajohdinta. Lisäkirjain S taas tarkoittaa, että kaapelissa on suojajohdin mukana (esim. 3 x 1,5N tai 3 x 1,5S).

Kaapelien nimet ovat perinteisiä kansallisia nimityksiä, jossa kirjaimet kertovat kaapelin rakenneosista ja niiden materiaaleista. Näitä nimiä käytetään edelleen kaupallisissa nimityksissä. (MMJ, MCMK). Esimerkiksi MMJ-kaapelissa ulkovaippa on muovia (M), johtimen eristys on muovia (M) ja kaapeli on asennuskaapeli (J). Kaapelien nimissä voi myös olla lisämerkintöjä, kuten MMJ-LSZH.

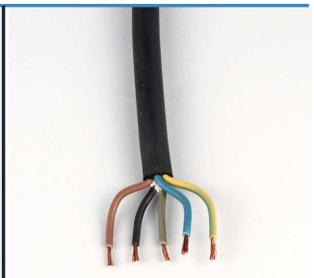
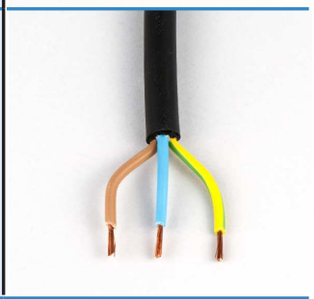
Kaapelien lisämerkintöjen selitykset

Lisämerkintä	
LS	Low Smoke, vähän savuava, itsestään sammuva
LSZH	Low Smoke Zero Halogen, vähän savuava, halogeeniton, itsestään sammuva
HF	Halogen Free, halogeeniton, itsestään nippuna sammuva
FR	Fire Resistant, palonkestävä
FRHF	Fire Resistant Halogen Free, palonkestävä, halogeeniton itsestään nippuna sammuva

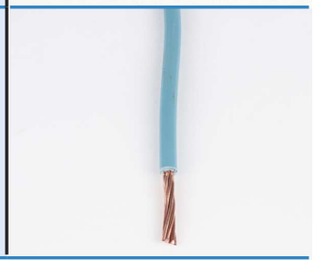
Taipuisat liitäntäkaapelit on tarkoitettu siirrettävien laitteiden liitäntäjohdoiksi sisäkäyttöön. Ne eivät kestä kovinkaan suurta mekaanista rasitusta. Esimerkiksi kaapelin varaan ripustettava lamppu saa painaa enintään 2 kg.

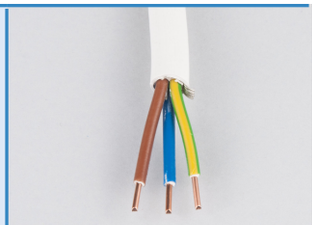
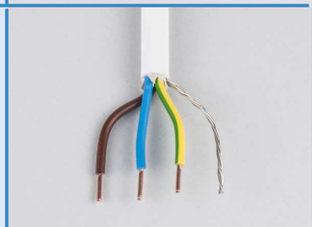
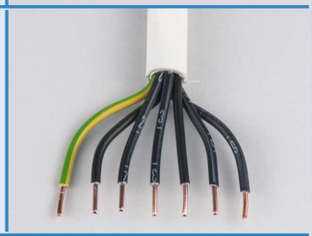
MSK Liitäntäkaapeli. Käytetään kotitalouksien ja toimistojen siirrettävissä laitteissa tavallisiin olosuhteisiin.	

Kumikaapelissa johtimet ovat hienolankaisia. Kaapelit on tarkoitettu käytettäväksi siirrettäviin laitteisiin (esim. sähkötyökalut) ulko- tai sisäkäyttöön, ja ne kestävät keskisuurta mekaanista rasitusta ja kosteita tai märkiä olosuhteita.

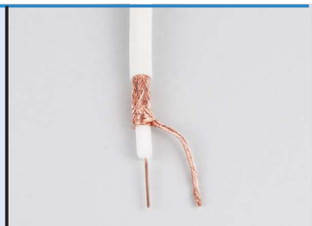
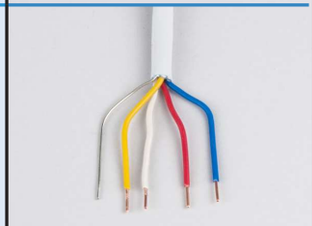
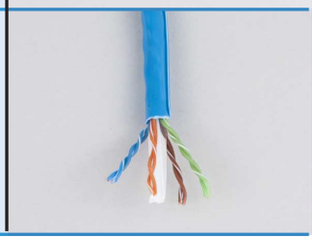
VSB TARMO 450/750 V Halogeeniton öljynkestävä, itsestään sammuva kumikaapeli. Käytetään liitäntäkaapelina kuivissa, kosteissa, märissä tai palovaarallisissa sisä- ja ulkotiloissa sekä räjähdysvaarallisissa tiloissa keskiraskaisiin mekaanisiin rasituksiin.	
H07RN-F (VSN) 450/750 V Liitäntäkaapeli. Käytetään kuivissa, kosteissa, märissä tai palovaarallisissa sisä- ja ulkotiloissa sekä räjähdysvaarallisissa tiloissa keskiraskaisiin mekaanisiin rasituksiin.	

Asennuskaapelit on tarkoitettu kiinteisiin pinta tai uppoasennuksiin sisä- ja ulkotiloissa.

ML 450/750 V Yksilankainen kaapeli. Käytetään kiinteään asennukseen asennusputkessa sekä laitteiden ja keskusten sisäiseen johdotukseen.	
MK 90 Muutamalankainen kaapeli. Käytetään kiinteään asennukseen asennusputkessa sekä laitteiden ja keskusten sisäiseen johdotukseen.	

MMJ 300/500 V Yksilankainen asennuskaapeli, jossa on PVC-muovinen vaippa. Sopii pinta- ja uppoasennuksiin sisällä ja ulkona. Ei sovi suoraan betonivaluun ilman asennusputkea eikä maa-asennuksiin.	
MPLM 300/500 V Notka Käytetään kiinteään pinta-asennukseen sisätiloissa, myös yksityis- ja vapaa-ajan asuntojen suihku- ja pesutiloissa. Vaipan alla oleva maadoituslanka (1 mm^2) on tarkoitettu ainoastaan metallivaipan maadoittamiseksi. Metallilanka on maadoitettava.	
MMO 450/750 V Sähkölaitteiden ohjaus-, mittaus- ja merkinantopiirien kaapeli. Käytetään kiinteään pinta- ja uppoasennukseen sisällä ja ulkona. Ei sovi maa-asennukseen.	

Muita kaapeleita

TELLU 13 Koaksiaalikaapeli. Käytetään yhteisantenniverkon sisäkaapelina ja satelliittivastaanottimen välitaajuuskaapelina.	
KLMA Suojattu merkinantokaapeli. Käytetään kiinteissä sisäasennuksissa, kiinteistöautomaatiossa sekä merkinanto-, valvonta- ja turva- ja paloilmoitinjärjestelmissä.	
TIETOVERKKOKAAPELI CAT6 Lähiverkkokaapeli Cat 6 UTP 4-parinen. 4 x 2 x 0,5.	

TEHTÄVIÄ

1 Etsi valmistajien (Reka, Draka) sivuilta tietoa siitä, mitä seuraavat kaapelit ovat ja mihin niitä käytetään:

MMJ

MPLM

TELLU 13

MMO

Firetuf DATA

ML

2 Etsi valmistajien (Reka, Draka) sivuilta tietoa siitä, mitä seuraavat kaapelit ovat, mihin niitä käytetään, millainen niiden rakenne on ja mitä niiden lisäkirjaimet tarkoittavat:

AFUX-LSZH

MMJ-HF

TELLU-GHF

MSK-LSZH

Halofix 90

HHJ Ultralight

3 Etsi seuraavien kaapelien merkinnöistä valmistajien sivuilta (Draka, Reka) selitykset merkinnöille

MMJ 3G2,5 300/500 V

H05RN-F 300/500 V (VSKN)

MKEM 90 450/750 V

→ TEHTÄVIÄ

4 Kaapelien tiedoissa (MMJ-LSZH) viitattiin DI-käsikirjan kohtiin 522.11 sekä kuviin 522.2 ja 522.3. Pyydä opettajaltasi DI-käsikirja, etsi mainitut kohdat ja kerro, mitä niissä sanotaan.

Etsi seuraaviin tehtäviin vastaukset kaapelivalmistajien sivuilta.

5 Kuinka kylmässä MMJ-kaapelia voidaan asentaa?

6 Mitä tietoja valmistaja ilmoittaa MMJ-kaapelista?

7 Mitä tarkoittavat valmistajan merkinnät ”Kaapelin pienin taivutussäde 6 x D” ja ”Kaapelin pienin taivutussäde 3 x D”? Laske taivutussäde taipuisalle liitäntäkaapelille MSOY ja asennuskaapelille MMJ 3 x 1,5.

Johtimien värit

Kaapelin valinnassa pitää huomioida, että kaapeli täyttää värien osalta SFS 6000:n määräykset. Vaihejohdin eli äärijohdin on jännitteinen johdin, jota pitkin virta pääsee esimerkiksi lampulle. Vaihejohtimesta käytetään lyhennettä L (Line) ja järjestysnumero. Vaihejohtimien standardien mukainen johtimien järjestys on seuraava:

Vaihejohtimet

▲ L1 ruskea ▲ L2 musta ▲ L3 harmaa

Yllä oleva on se järjestys, joka todetaan jännitteenkoettimella rakennuksen sähköenergian toimittajalta tulevan kaapelin jännitteiden kiertosuunnan mukaan.

Nollajohdin

PE-johdin

PEN-johdin, sinisellä merkillä merkitty kelta-vihreä

Nollajohdin on jännitteinen johdin, jota pitkin virta palaa takaisin lampun jälkeen, Nollajohtimen lyhenne on N.

PE-johdin eli suojamaadoitusjohdin on suorassa yhteydessä maahan, jolloin vikatilanteessa virta menee maahan ja polttaa sulakkeen. Suojamaadoitusjohtimen lyhenne on PE. Siitä käytetään myös lyhennettä kevi.

PEN-johdin on yhdistetty suojamaadoitusjohdin ja nollajohdin. Se tulee talon pääkeskukseen, jossa se eriytetään suojamaadoitusjohtimeksi ja nollajohtimeksi, jotka jatkavat matkaa talon sisäisiin kytkentöihin erillisinä. Yhdistetyn suojamaadoitusjohtimen ja nollajohtimen lyhenne on PEN.

Johdinvärit kaapeleissa, joissa on kelta-vihreä johdin (S-järjestelmä)

Johtimien lukumäärä	**Johtimien värit**				
	Suojajohdin	**Jännitteiset johtimet**			
3	kelta-vihreä	sininen	ruskea		
4	kelta-vihreä	–	ruskea	musta	harmaa
4*	kelta-vihreä	sininen	ruskea	musta	
5	kelta-vihreä	sininen	ruskea	musta	harmaa

Johdinvärit kaapeleissa, joissa ei ole kelta-vihreää johdinta (N-järjestelmä)

Johtimien lukumäärä	**Johtimien värit**				
2	sininen	ruskea			
3	-	ruskea	musta	harmaa	
3*	sininen	ruskea	musta		
4	sininen	ruskea	musta	harmaa	
5	sininen	ruskea	musta	harmaa	musta

*merkityt kaapelit vain joihinkin tarkoituksiin

Edellä kerrottiin, että kaapelien pitää olla erivärisiä, jotta ne tunnistetaan oikein. Mutta jos kaapelissa on enemmän kuin 6 johdinta, niillä voi kuitenkin olla erilainen tunnistusjärjestelmä, jossa johtimien tunnistamiseen

voidaan käyttää numeroita (esim. ohjauskaapelit). Tällöin kaikki kaapelit ovat samanvärisiä (mustia) ja ne on merkitty numerolla. Esimerkiksi kaapelissa MMO 7 x 1,5S on numeroitujen mustien kaapeleiden lisäksi kelta-vihreä johdin.

copper	kupari
cable	kaapeli
phase	vaihe
neutral	nolla
protected earth, protected grounding	PE, suojamaa
earthing, grounding	maadoitus
earth conductor	suojamaadoitusjohdin
electrical installation	sähköasennus

Johtimien käyttö

Vaihejohtimena eli äärijohtimena käytetään kaapelin ruskeaa, mustaa ja harmaata johdinta. Vaihdejohdinta voidaan käyttää nollajohtimena, jos kaapelissa ei ole sinistä johdinta. Tällöin johdin teipataan sinisellä teipillä. Vaihejohdin on jännitteinen johdin, joka toimii virtajohtimena.

Kaapelin sinistä johdinta käytetään nollajohtimena. Jos **nollajohdinta** ei tarvita, sinistä johdinta voidaan käyttää vaihejohtimena. Tällöin se merkitään teippaamalla näkyvä osa vaihejohtimen värillä. Tällainen tilanne on esimerkiksi kytkimen piirin osassa. Vaihejohtimen tapaan nollajohdin on jännitteinen johdin ja toimii myös virtajohtimena.

PE-johtimen eli suojajohtimen tarkoitus on suojata käyttäjä sähköiskulta. Kelta-vihreää johdinta ei saa käyttää mihinkään muuhun tarkoitukseen kuin suojajohtimena.

PEN-johdin eli yhdistetty suoja- ja nollajohdin on kelta-vihreä johdin, johon teipataan sininen merkki. PEN-johdin toimii samalla suoja- ja nollajohtimena, ja se kytketään suojajohtimelle tarkoitettuun liittimeen. PEN-johdin tulee yleensä talon pääkeskukseen, minkä jälkeen se eriytetään erillisiksi nolla- ja suojajohtimiksi.

Kaapelin kuoriminen

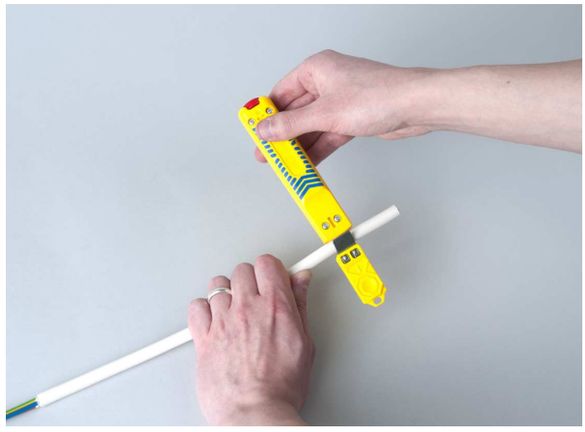
Kaapeli kuoritaan kuorintatyökalun eli ”jokarin” avulla. Jokarilla kuoritaan MMJ-kaapelista ulkovaippa. Monitoimijokarilla taas voidaan kuoria MMJ-kaapelia ja pieniä 0,2–4,0 mm^2:n yksittäisjohtimia.

▲ Kuorintatyökalu eli jokari

▲ Monitoimijokari

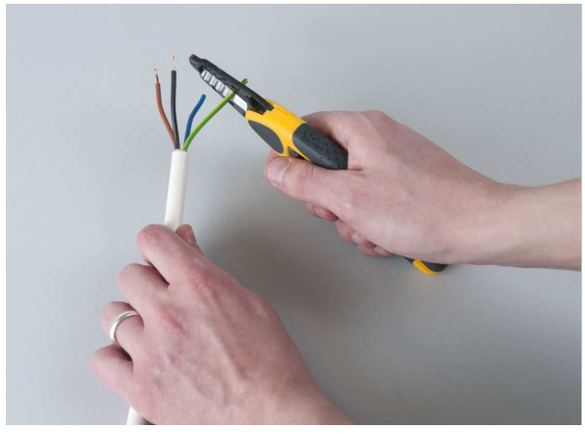
MMJ:n kuoriminen

▲ 1. Aseta jokari tiiviisti kaapelin ympärille.



▲ 2. Pyöräytä jokaria kaksi kertaa kaapelin ympäri, jotta saat varmasti viillon ympäri kaapelin.

▲ 3. Vedä jokari kaapelin läpi, jolloin se tekee viillon koko kaapelin matkalta pitkittäin.



▲ 4. Vedä kaapelin vaippa pois ja kuori johtimet.

Johtimet kuoritaan kuorintapihdeillä liittimen vaatimalta matkalta. Monisäikeistä johdinta kuorittaessa pitää varoa, etteivät yksittäiset johdinsäikeet mene poikki. Yksilankaisen johtimen säie ei saa naarmuuntua. Kuorimisen lisäksi kuorintapihdeillä johdin voidaan myös taivuttaa ja katkaista.

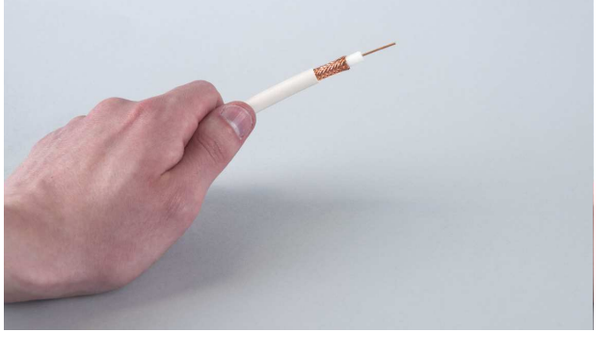
▲ Johtimen kuorintapihdit

Koaksiaalikaapelin kuorintatyökalu ▶

Koaksiaalikaapelin kuoriminen

◀ Koaksikaapelin kuorintatyökalun terät säädetään ensin.

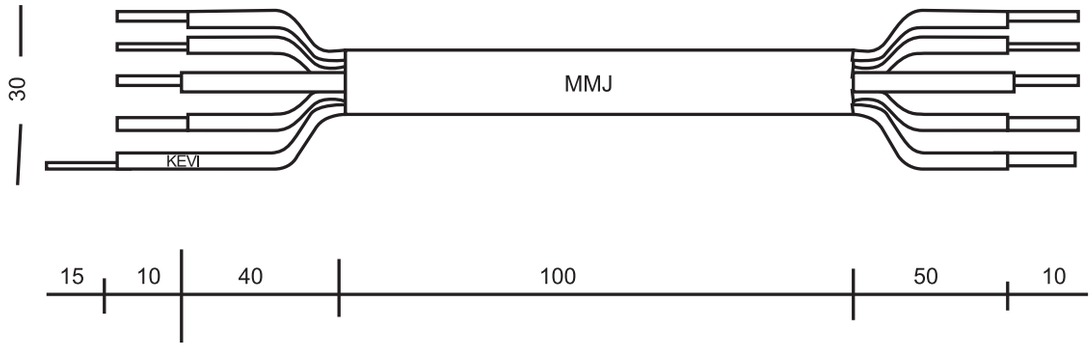
◀ Pyöräytä työkalua kerran kaapelin ympäri ja vedä kaapeli pois työkalusta.



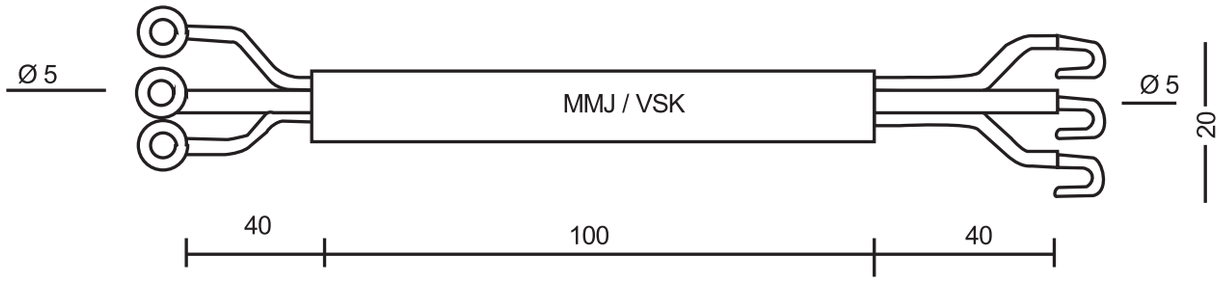
◀ Kuorintatyökaun avulla kaapelin saa kuorituksi kerralla oikein.

1 Kuori kaapelit mittapiirrosten mukaisesti ja taivuta johtimien päät (kohdassa 2) kuvan mukaan.

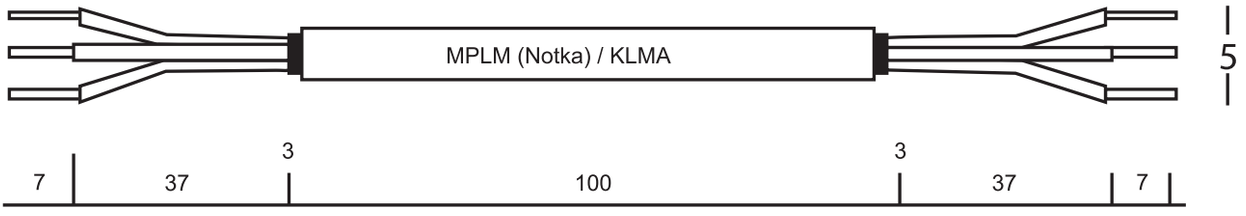
1. Kaapeli: MMJ 4x1,5S tai 5x1,5S



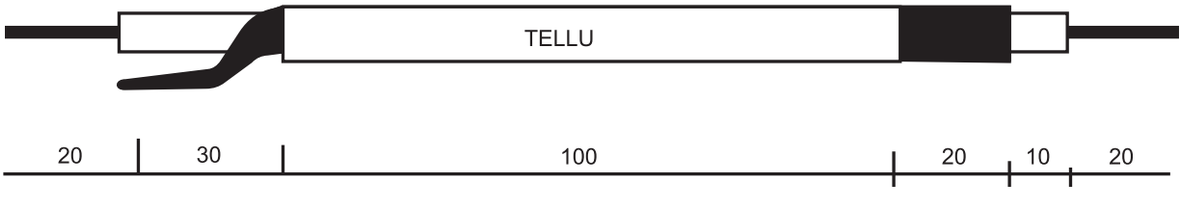
2. Kaapeli: MMJ/VSK 3x1,5S



3. Kaapeli: MPLM(Notka) 3x15 ja KLMA 4x0,8 + 0,8



4. Kaapeli: Tellu 13



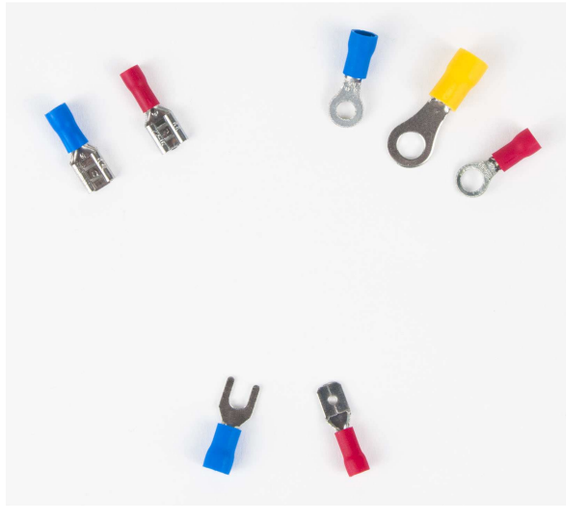
TEHTÄVIÄ

2 Katkaise seuraavista kaapeleista 120 mm:n pätkä:

a) MMJ 5 x 1,5S
b) MPLM 3 x 1,5S
c) VSKB 3 x 1,5S
d) MCMK 3 x 2,5/2,5
e) ML 2,5
f) MSK 3 x 1,5S
g) Tellu 13
h) CAT 7
i) MMO 7 x 1,5.

Selvitä kaapelien rakenne itsellesi. Kuori kaapelien vaippaa 30 mm:n matkalta ja levitä yksittäiset johtimet. Kuori johtimien eristettä 10 mm:n matkalta. Asenna VSKB-kaapelin toiseen päähän eristetty pääteholkki ja toiseen päähän lattaliitin.

▲ Eristetty pääteholkki



Lattaliittimiä ▶

Pihdit

Liukunivelpihdit (siirtoleukapihdit, papukaijapihdit) on tarkoitettu kappaleiden kiinnipitoon ja vääntämiseen. Yhdistelmäpihtejä taas käytetään kappaleiden kiinnipitämiseen, taivutteluun ja katkaisemiseen.

Kärkipihtejä ja taivutettuja kärkipihtejä käytetään elektroniikkatöissä. Niillä on helppo tarttua johtimeen ahtaissa paikoissa. Lattapihtejä taas käytetään pienten osien kiinnipitämiseen.

▲ Liukunivelpihdit

▲ Yhdistelmäpihdit

Lattapihdit ▶

▲ Sivuleikkurit

▲ Kaapelileikkurit

Leikkurit

Sivuleikkureilla katkaistaan johtimia ja ohuita kaapeleita. Sivuleikkurin myyntipakkauksessa ilmoitetaan suurimmat sallitut johtimen halkaisijat. Kaapelileikkurit ovat paksumpia kaapeleita varten.

Vääntimet

Vääntimiin kuuluvat sekä käsin käytettävät ruuvitaltat että sähkökäyttöiset ruuvinvääntimet. Nykyään sähkötöissä käytetään yhä enemmän sähkökäyttöisiä (akku- tai verkkokäyttöiset) ruuvinvääntimiä. Ruuvien vääntöön voidaan käyttää myös porakonetta, jossa on vääntömomentin rajoitin.

▲ Ruuvitaltta, ura

▲ Ruuvitaltta, Philips

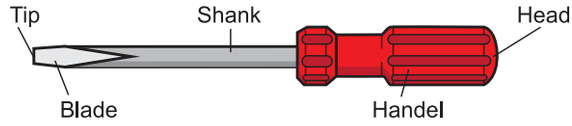
▲ Ruuvitaltta, torx

◀ Kuusiokoloavainsarja

Sähkökäyttöinen ruuvinväännin ▶

TEHTÄVIÄ

1 Mitkä ovat ruuvitaltan osat suomeksi?



Ruuvitaltan käyttö

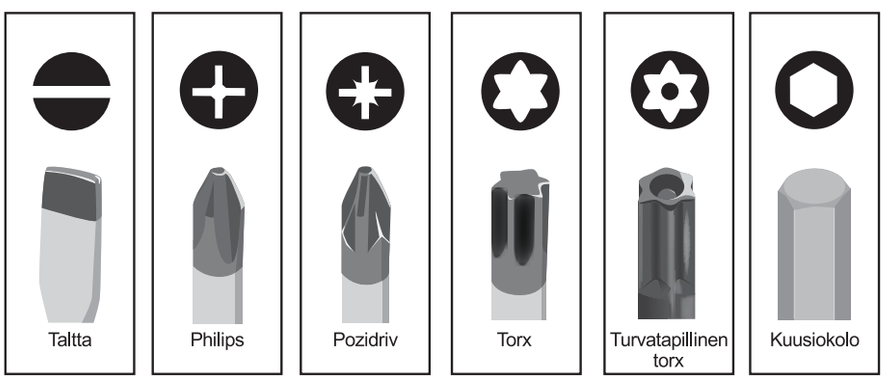
1. Valitse ruuville oikea ruuvitaltta: torx-ruuville torx-ruuvitaltta ja Philips-ruuville Philips-ruuvitaltta. Tämä saattaa tuntua itsestään selvältä, mutta monet kuitenkin valitsevat väärän ruuvitaltan ja siten pilaavat sen.

2. Käytä oikeankokoista kärkeä. Ruuvitaltan kärjen pitää täyttää ruuvin reikä täysin. Jos kärki on liian kapea, ruuvia väännettäessä menetetään huomattava osa ruuvitaltan vipuvoimasta. Tämä tarkoittaa sitä, että ruuvin vääntämiseen täytyy käyttää enemmän lihasvoimaa. Jos taas kärki on liian suuri, pilaat pinnan johon laitat ruuvia. Lisäksi jos kärki on liian paksu, terä ei sovi ruuviin ja luistaa pois väännettäessä. Vääränkokoisella ruuvitaltalla pilataan terän lisäksi myös ruuvi.

3. Kun kierrät ruuvia puupinnalle, on usein hyväksi tehdä ensin pieni aloitusreikä. Ilman aloitusreikää ruuvi seuraa puun syitä, jolloin ruuvi menee helposti vinoon. Aloitusreikä varmistaa sen, että ruuvi menee suoraan.

4. Aseta ruuvi ruuvitaltan kärkeen ja pistä sekä ruuvi että kärki yhdessä sormien välissä yhdellä kädellä. Väännä ruuvia myötäpäivään siten, että lisäät hyvin vähän voimaa, kunnes ruuvi ottaa kunnolla kiinni puuhun.

5. Kun ruuvin kierre on muutaman kierroksen puun pinnassa kiinni, siirrä ruuvista kiinni pitävät sormet pois ruuvitaltan varteen ohjaamaan terää suorassa linjassa ruuvin nähden. Lisää tarpeeksi voimaa ruuvitalttaan, jotta terä pysyy ruuvin lovessa.



Ruuvitaltan valinta oikealle ruuville

Muut työkalut

▲ Rautasaha

▲ Pohjakosketinavain

▲ Rullamitta

Rautasahaa tarvitaan putkien katkaisuun. Pohjakosketinavaimella taas vaihdetaan tulppasulaketauluun sulakepohjat.

Asennustarvikkeita

Jakorasiat

▲ Pinta-asennusjakorasia

▲ Uppoasennusjakorasioita

Nysiä ▶

Jakorasiassa jaetaan kaapelien johtimet eri suuntiin ja liitetään ne toisiinsa kytkentäliittimillä. Nysän avulla taas saadaan kaapelit pysymään paikoillaan, eli se toimii vedonpoistajana.

Kiinnitystarvikkeet

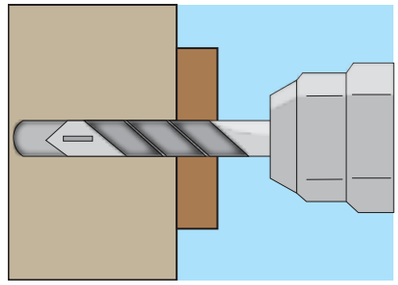
▲ Naulakiinnike

▲ Ruuvikiinnike

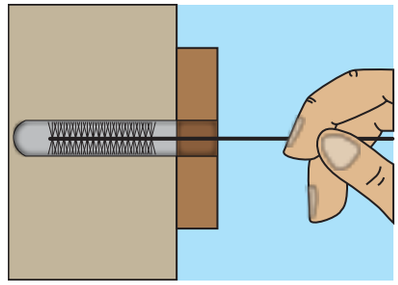
▲ Rivikiinnike

▲ Kiinnitystulppa eli ”proppu”

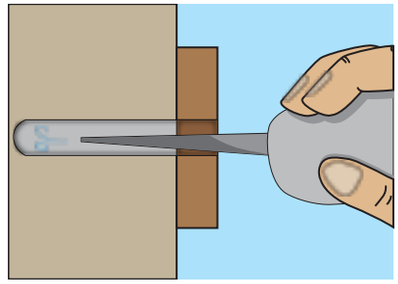
Naula- ja ruuvikiinnikkeiden avulla kaapelit kiinnitetään seinään. Rivikiinnikkeitä käytetään, jos kaapeleita tulee rinnakkain useampia. Kiinnikkeet saadaan kiinnitetyksi tiileen ja betoniin kiinnitystulpan avulla. Kiinnitystulppaa tarvitaan, kun kiinnitetään ruuveja tai nauloja kiviseinään. Yleisimpiä kiinnikkeitä ovat naulakiinnikkeet, koska niitä on helppo ja nopea kiinnittää seinään.



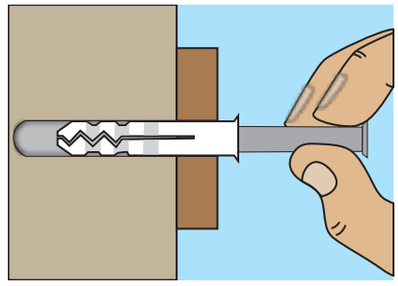
◀ Poraa tulpalle sopiva reikä.



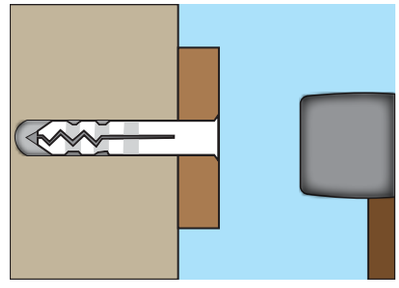
◀ Puhdista reikä mekaanisesti.



◀ Ilman avulla saat reiästä kaiken pölyn pois.



◀ Aseta kiinnitystulppa reikään ja ruuvi tai naula tulppaan.



◀ Kiinnitä naula tai ruuvi.

Liitostarvikkeet

Johtimia liitetään toisiinsa haaroittamalla, siirtymällä toiseen johdinlajiin ja liittämällä niitä muihin sähkölaitteisiin. Johtimien liitosten on oltava sekä mekaanisesti että sähköisesti luotettavia, ja niiden johtavuuden pitää olla samanlainen kuin katkaisemattomalla johtimella. Johdineristystä poistetaan vain sen verran kuin tarvitaan liitoksen tekoa varten. Liitoksen ulkopuolella ei saa näkyä paljasta kuparia.

> Liitos on mekaanisesti luotettava, kun liitoskohdassa johtimet eivät liiku, vaikka johdinta yritettäisiin liikuttaa.
>
> Liitos on sähköisesti luotettava silloin, kun johtimella on hyvä kontakti ja se on huolellisesti asennettu. Löysä liitoskohta aiheuttaa sähköpalon vaaran.

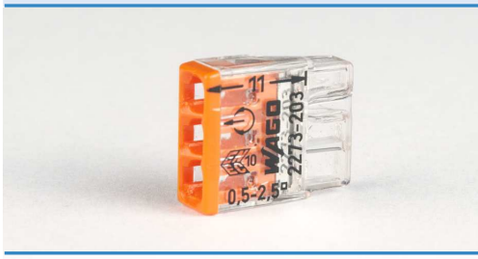
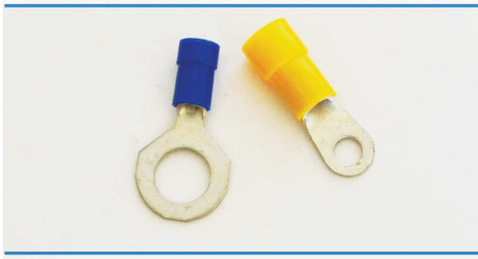
Taloasennuksiin tarvittavien kuparijohtimien liittämiseen on monia eri tapoja. Liittimen valintaa vaikuttaa johtimen rakenne (yksilankainen, muutamalankainen tai hienolankainen). Varsinkaan hienolankaisten johtimien liitoksiin ei voi käyttää kaikkia liitintyyppejä.

Jousiliittimessä johdin työnnetään hahloon, jossa jousi pitää johtimen paikallaan ja puristaa sen liitospintaa vasten. Jousiliittimiä käytetään kytkentäliittiminä esimerkiksi jakorasioissa.

Ruuviliittimiä on laitteiden liittimissä muun muassa pistorasioissa ja kytkimissä. Hienolankaisten johtimien liitoksissa ruuviliitos on useimmiten ainoa luotettava liitostapa. Ruuviliitoksen etuna on, että liitos voidaan avata ja kiinnittää uudelleen.

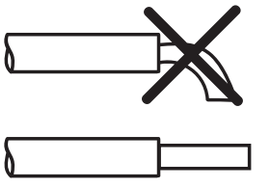
Puristettavia liitoksia käytetään pienillä poikkipinnoilla lähinnä hienolankaisten johtimien pääteholkeissa ja kaapelikengissä.

Eristeen läpäiseviä liittimiä (esim. RJ45) käytettäessä liitokset tehdään kuorimatta johtimia.

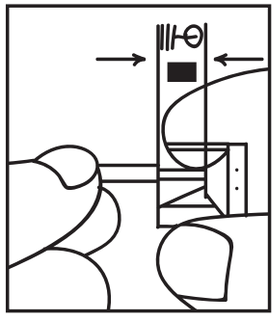
Liitin	Nimitys	Käyttö
	3-os. Wago -jousiliitin	yksi- ja muutama-lankaisille 0,75–2,5 mm²:n kuparijohtimille
	3-os Wago -vivullinen jousiliitin	yksi- ja monisäikeisille 0,08–4 mm²:n johtimille, avattavissa uudelleen vipumekanismin ansiosta
	Wago-jousiliitin	yksinapainen jousiliitin, jolla voi vaihtaa esim. kumikaapelin jäykkään MMJ-kaapeliin, yksi- ja muutamalankaisille 1–2,5 mm²:n kuparijohtimille
	Ruuviliitin	laitteiden sisällä liittimissä
	Eristetty pääteholkki	monisäikeisten johtimien päättämiseksi; puristetaan johtimen päähän; värikoodaus johtimen poikkipinnan mukaan
	Eristetty, puristettava rengaskaapelikenkä	ruuviliitoksiin
	RJ45-liitin	televiestintäverkostoissa modeemien, reitittimien ja muiden verkkolaitteiden kytkentää varten; johtimia ei kuorita

1 Mitä valmistaja haluaa kertoa liittimen käytöstä?

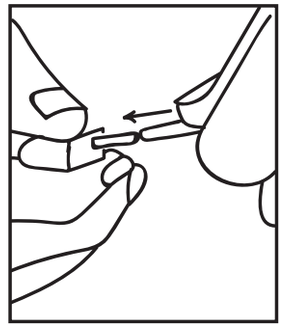
1



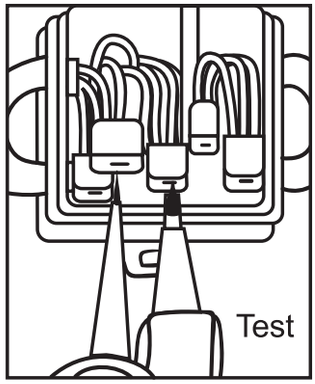
2



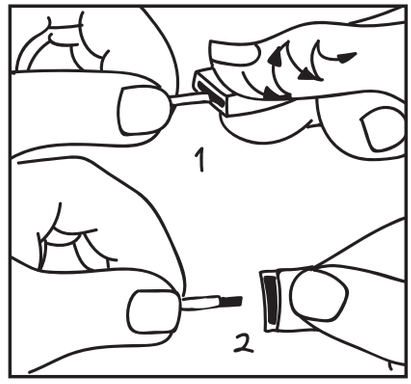
3



4



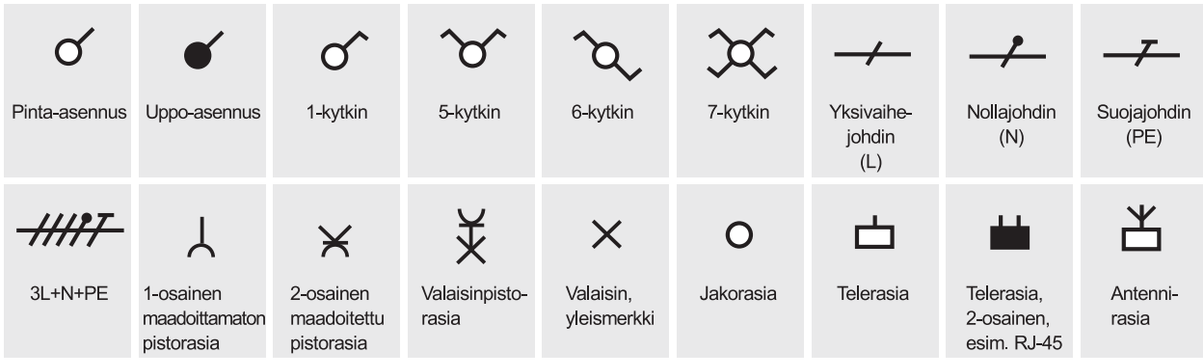
5



Sähköasennusten perusteita

Jokainen sähköasentaja tekee pääasiassa valaistuksen perusasennuksia, jotka opetellaan heti ensimmäisenä opiskeluvuotena. Perusasennuksiin kuuluvat pistorasian asennus ja eri kytkimien asennukset. Kytkimillä ohjataan lamppujen syttymistä ja sammumista. Lisäksi piirrosmerkkien ymmärtäminen on tärkeää, jotta osaa asentaa oikeat kalusteet.

Talotekniikan yleisimpiä piirrosmerkkejä



Pinta-asennettava kojeen merkistä jätetään keskusta auki. Uppoasennettava koje taas merkitään mustaamalla merkin sisäosa.

Jatkojohdot

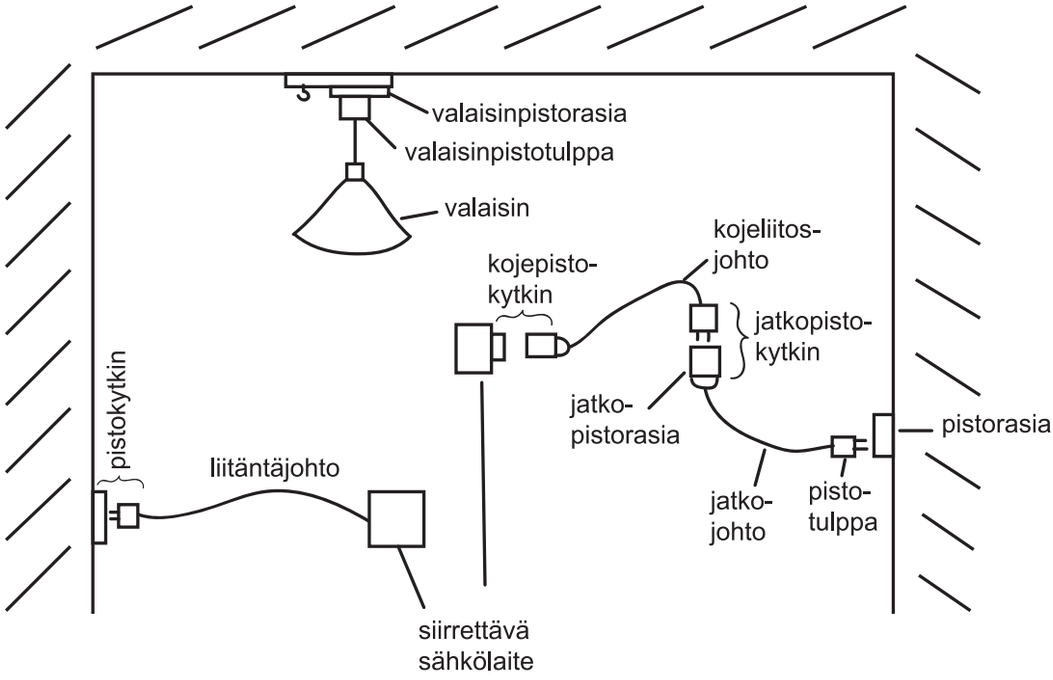
Talon pistorasioista näkee, millaisia jatkojohtoja niissä voidaan käyttää. Jatkojohdon voi liittää vain sellaiseen rasiaan, johon pistotulppa on tarkoitettu. Pistotulpan rakennetta ei saa missään tapauksessa muuttaa. Ulkotiloissa käytetään läpällistä eli roiskevedenpitävää jatkopistorasiaa. Jos jatkojohto menee rikki, se on heti poistettava käytöstä ja korjattava. Rikkinäisiä jatkojohtoja ei saa käyttää. Jatkojohtojen kunto kannattaakin tarkistaa säännöllisin välein. Jatkojohdolla ei saa korvata kiinteää asennusta, vaan sitä voi käyttää vain väliaikaisena ratkaisuna.

Jatkojohto ei saa olla liian pitkä,

- koska se joutuu mekaanisille rasituksille
- jotta oikosulkusuoja toimisi riittävän nopeasti
- jottei tapahtuisi jännitteen pienenemistä.

Virran kulku johtimessa aiheuttaa jännitteen pienenemistä. Mitä pidempi johto on, sitä suurempi on jännitteen pienenemä.

Nimityksiä



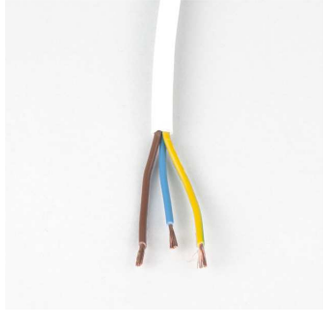
▲ Johtojen ja pistokytkimien sekä niiden osien nimityksiä

Yksivaiheisen jatkojohdon voi tehdä maallikkokin, kunhan hän tietää mitä tekee. Yksivaiheisia jatkojohtoja ovat tavallinen jatkojohto, suojamaadoitettu jatkojohto ja roiskeveden pitävä jatkojohto (läpällinen), jossa on aina myös suojamaadoitus. Jatkojohtoon valitaan joko MSK-kaapeli (sisälle) tai kumikaapeli (ulkokäyttöön) (H05RR-F tai H05BB-F).

Tavallisen sisäkäyttöön tarkoitetun yksivaiheisen maadoitetun jatkojohdon tarvikkeet:

▲ Pistotulppa

▲ Jatkopistorasia



▲ MSK-kaapeli sisäkäyttöön, 3 x 1,5S

Ulkokäyttöön tulevan suojamaadoitetun yksivaiheisen jatkojohdon tarvikkeet:

▲ Suojamaadoitettu pistotulppa IP44

▲ Suojamaadoitettu läpällinen jatkopistorasia IP44

▲ Kumikaapeli ulkokäyttöön, 3 x 2,5S

Jatkojohdon tekeminen

1. Varaa tarvittavat työkalut: sivuleikkurit, ruuvimeisseli ja kuorintapihdit.

2. Valitse tarvikkeet sen mukaan, tuleeko jatkojohto ulko- vai sisäkäyttöön.

3. Tee kaapeliin viilto siten, ettet vahingoita johtimien eristystä. Vedä kaapelin ulkokuorta auki riittävästi, jotta saat johtimia tarpeeksi esille.

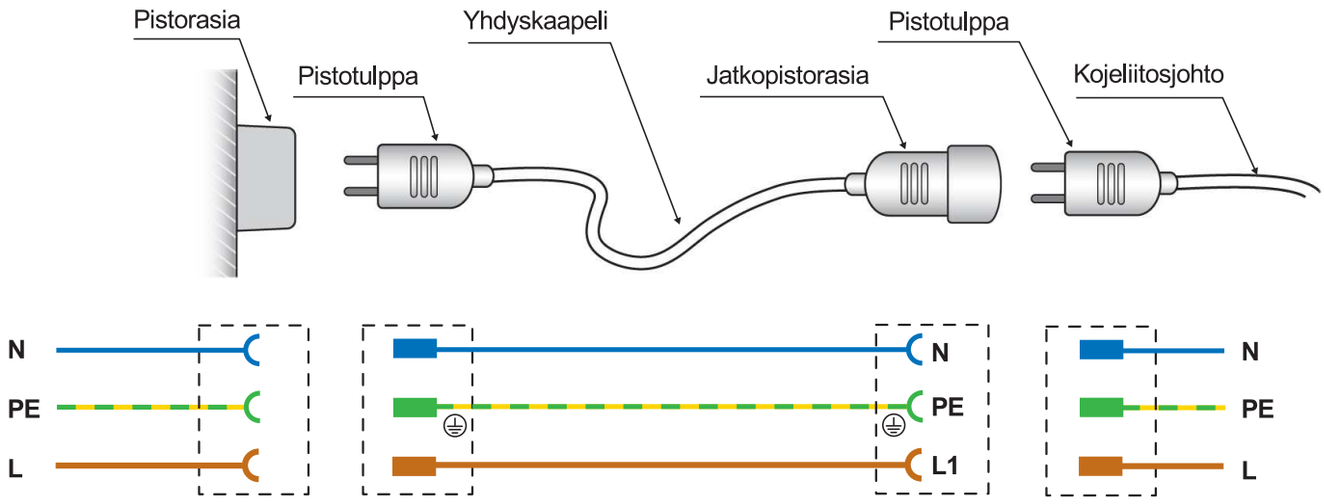
4. Pujota suojakuori pujotetaan kaapeliin tässä vaiheessa.

5. Kuori johtimia 6–7 mm. Yksittäiset säikeet eivät saa vahingoittua. Kelta-vihreä johdin jätetään pidemmäksi kuin muut johtimet.

6. Liitä johtimet liitinruuveihin, kelta-vihreä suojajohdin suojamaadoitusmerkillä varustettuun liittimeen ja ruskea vaihe ja sininen nollajohdin reunimmaisiin liittimiin. Tässä vaiheessa pitää olla erityisen huolellinen ja tarkistaa, ettei säikeitä jää yhtään liittimen ulkopuolelle. Kantaruuviliittimessä johdin asetetaan ennen kiristystä ruuvin vasemmalle puolelle ja kierretään ruuvin ympäri.

7. Aseta kuori paikalleen ja kiristä ruuvit.

8. Suorita jatkojohdon tarkistusmittaukset, joissa tarkistetaan johdon turvallisuus.



▲ Esimerkki yksivaiheisesta siirtymispistokytkimestä

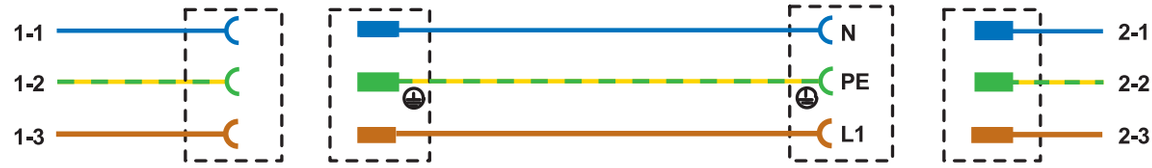
Kolmivaiheinen jatkojohto tarvitaan voimapistorasiaa tarvitsevalle siirrettävälle laitteelle. Voimapistokytkimessä on kolme vaihekosketinta, yksi nollakosketin ja yksi suojamaadoituskosketin.

▲ Avattu jatkopistokytkin

▲ Avattu jatkopistorasia

Kolmivaiheisen jatkojohdon taipuisan kaapelin pitää olla poikkipinnaltaan vähintään 5 x 2,5 mm^2, kun nimellisvirta on 16 A. Sen on kestettävä käsittelyä vähintään –25 °C:n lämpötilassa. Kaapelina tuleekin käyttää kumikaapelia VSB 5 x 2,5.

1 Suojamaadoitettu jatkojohto



a) Valmista 300 mm:n suojamaadoitettu jatkojohto. Muista jättää kelta-vihreä johdin reilusti pidemmäksi kuin sininen ja ruskea johdin. Kaapelin vaippa tulee vedonpoistajan alle niin, että vaipasta näkyy noin 1 mm.

b) Mikä on vaiheen, nollan ja suojamaan lyhenne, ja minkä värisiä johtimia niissä käytetään?

c) Mitkä ovat näiden kaapeleiden piirrosmerkit?

d) Kun olet saanut jatkojohdon valmiiksi, suorita tarkastusmittaukset yleismittarin resistanssimittauksella. Kun mittaus osoittaa, etteivät mittauspisteet ole yhteydessä toisiinsa, käytä merkkiä ∞ (ääretön).

Muista käyttää resistanssin yksikköä Ω (ohmi), kun kirjoitat mittaustuloksen.

Mittaa seuraavat välit:

Pyydä opettajaa tarkistamaan saamasi tulokset!

Mittausväli	Resistanssi
1–1 ja 2–1	
1–1 ja 2–2	
1–1 ja 2–3	
1–1 ja 1–2	
1–1 ja 1–3	
1–2 ja 2–1	
1–2 ja 2–2	
1–2 ja 2–3	
1–2 ja 1–3	
1–3 ja 2–1	
1–3 ja 2–2	
1–3 ja 2–3	
2–1 ja 2–2	

→ TEHTÄVIÄ

e) Mikä oli edellisen mittauksen tarkoitus?

f) Miksi monisäikeisen johtimen päihin on hyvä laittaa holkki ruuviliitoksessa?

g) Mikä on vedonpoistajan tehtävä jatkopistorasiassa ja jatkopistotulpassa?

h) Mikä on tekemäsi suojamaadoitetun jatkojohdon suojausluokka?

i) Piirrä suojamaadoituksen piirrosmerkki

j) Minkälaiseen pistorasiaan voi liittää tekemäsi jatkojohdon?

k) Miten voidaan suojamaadoitettu pistorasia tunnistaa?

l) Mitä sääntöjä on muistettava jatkojohdon käytöstä?

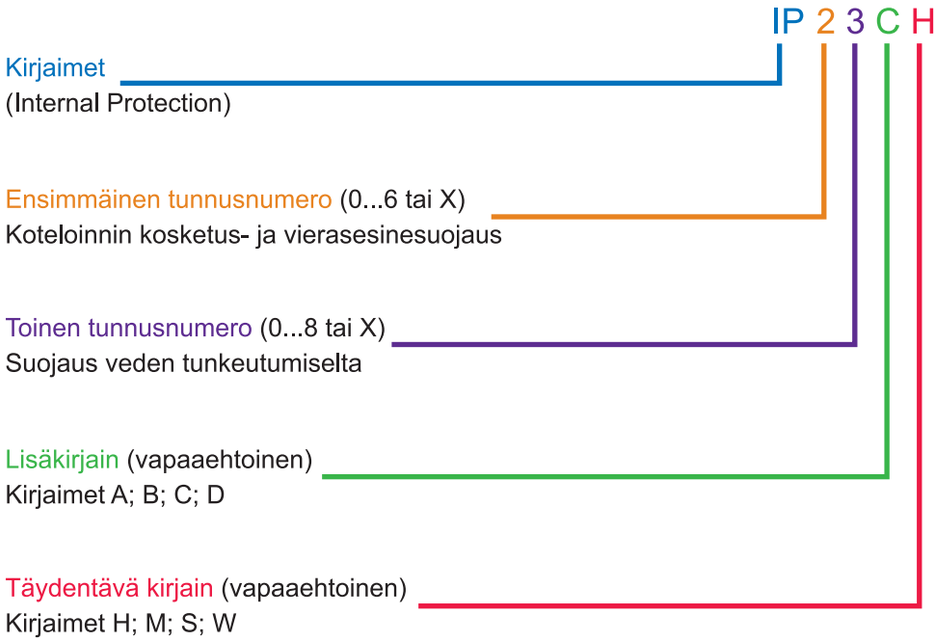
m) Kerro, miten suojamaadoitus toimii.

n) Mitä sähkötöitä voi maallikko tehdä?

Kotelointiluokitukset

Sähkölaitteiden kotelointiluokituksessa noudatetaan kansainvälistä IP-luokitusta. Sähkölaitteiden käyttöpaikka vaikuttaa siihen, mitä vaatimuksia laitteen koteloinnille asetetaan. Kotelointiluokkien tuntemus on välttämätöntä, jotta osaa valita oikean laitteen erilaisiin olosuhteisiin.

IP-koodin muodostaminen



Kotelointiluokkien numeroiden ja kirjainten merkitys

	Numero tai kirjain	Merkitys laitesuojauksessa	Merkitys henkilösuojauksessa
		Suojaus vieraiden esineiden ja pölyn sisään pääsyltä	Vaaralliset osat kosketus-suojattu
Ensimmäinen tunnus-numero	0	suojaamaton	suojaamaton
	1	kun halkaisija on 50 mm	nyrkiltä
	2	kun halkaisija on 12,5 mm	sormelta
	3	kun halkaisija on 2,5 mm	työkalulta
	4	kun halkaisija on 1,0 mm	langalta
	5	pölysuojatusti	langalta
	6	pölytiiviisti	langalta

→

Toinen tunnus-numero		**Suojattu veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta**	
	0	suojaamaton	
	1	pystysuoraan tippuvalta vedeltä	
	2	tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus 15°)	
	3	satavalta vedeltä	
	4	roiskuvalta vedeltä	
	5	vesisuihkulta	
	6	voimakkaalta vesisuihkulta	
	7	lyhytaikaisesti upotettuna	
	8	jatkuvasti upotettuna	
Lisäkirjain (vapaa-ehtoinen)			**Vaaralliset osat kosketussuojattu**
	A		nyrkiltä
	B		sormelta
	C		työkalulta
	D		langalta
Täydentävä lisäkirjain (vapaa-ehtoinen)		**Täydentävän tiedon merkitys**	
	H	Suurjännitelaite	
	M	Vesisuojaus koestettu laitteen ollessa käynnissä	
	S	Vesisuojaus koestettu laitteen ollessa pysähdyksissä	
	W	Laite koestettu erityisiin sääoloihin	

Jos tunnusnumeroa ei tarvita, numero voidaan korvata kirjaimella X.

ESIMERKKI

Kotelointiluokka IP34

- suojaa ihmistä vaarallisten osien koskettamiselta käsiteltäessä työkaluja, joiden halkaisija on ≥ 2,5 mm.
- suojaa koteloinnin sisällä olevaa laitetta ≥ 2,5 mm:n esineiden sisääntunkeutumiselta
- suojaa koteloinnin sisällä olevaa laitetta kaikista suunnista roiskuvalta veden haitallisilta vaikutuksilta.

TEHTÄVIÄ

1 Kerro, mitä seuraavat kotelointiluokitukset tarkoittavat:

a) IP23 _____

b) IP65 _____

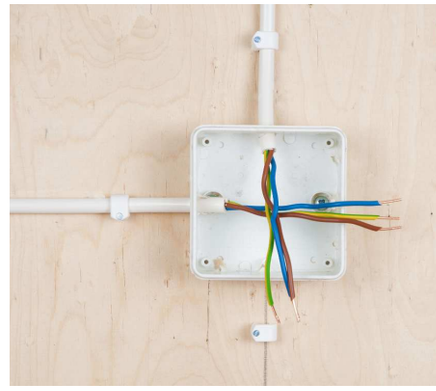
c) IP44 _____

d) IP21 _____

e) IPX1 _____

f) IP2X _____

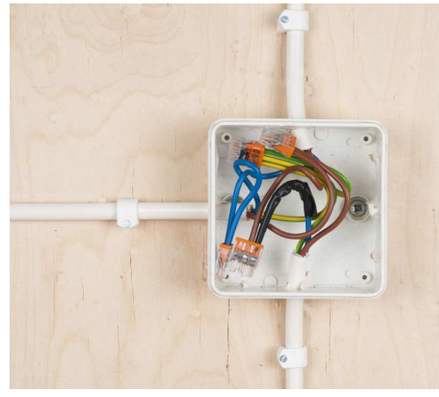
Kaapelin asentaminen kalusteisiin



Kun kaapelia asennetaan asennuskalusteisiin, työn jäljen on asennuksen jokaisessa kohdassa vastattava sähköturvallisuusmääräyksiä. Asennuksen on oltava siisti ulkoasultaan ja helposti muutettavissa. Usein asennuksiin joudutaan jälkeenpäin muuttamaan tai lisäämään jotain.

Kun asennat kaapelia kalvotiivisteelliseen jakorasiaan,

- tee ensin rasian kalvoihin reiät ruuvimeisselin avulla
- kuori kaapelia tarvittavan pituuden verran. Pituuden pitää olla rasian toisesta reunasta jonkin verran vastakkaisen reunan yli. Tällöin kaapelin pituus on sopiva.
- aseta kaapelit jakorasiaan siten, että kaapelia vedetään hieman takaisinpäin, jotta tiiviste pullistuu ulospäin. Näin kalvo pitää ulkoa päin tulevaa kosteutta ja vettä paremmin rasian ulkopuolella.



- kaapelin vaippaa saa olla noin 5 mm rasian sisällä
- kuori johtimia liittimen valmistajan määrittelemän pituuden verran
- liitä johtimet liittimeen valmistajan ohjeiden mukaisesti
- taivuta johtimet siististi rasian sisälle siten, ettei niihin tule jyrkkiä taivutuksia.

Asennustavat

Sähkökaapelit pyritään asentamaan asuinrakennuksessa piiloon. Uudisrakennuksissa ne yleensä laitetaan seinärakenteiden sisään putkeen tai ilman putkea. Vanhoja rakennuksia saneerattaessa kaapelit joudutaan useimmiten asentamaan seinä- tai kattopinnalle. Tällöin asennuksen ulkonäöllä on suuri merkitys. Kaapelit voidaan asentaa myös erilaisten johtokotelon sisään, jolloin ne on asennettu pinta-asennuksena mutta ne eivät näy. Isoissa rakennuskohteissa, kuten kaupoissa ja kouluissa, kaapelit asennetaan yleensä kaapelihyllylle tai kaapelikouruun.

Pinta-asennus

Kun kaapeli asennetaan pinnalle, lopullinen asennus jää näkyville. Tällöin ulkonäköön pitää kiinnittää erityistä huomiota. Kaapeleiden asennus suunnitellaan hyvin, jotta kaapelit saadaan suorinta reittiä pitkin. Asennuskalusteiden sijoittelu ja asennuskorkeudet suunnitellaan etukäteen, jotta saadaan ulkonäöltään siisti ja yhdenmukainen kokonaisuus.

Pinta-asennuksessa on muistettava seuraavat asiat:

- Tarvikkeet pidetään puhtaana koko asennustyön ajan.
- Kiinnikkeiden asennusväli on johto- tai kaapelityypin, kaapelin poikkipinnan ja asennussuunnan perusteella 15–25 cm.
- Asennuskalusteisiin lähin kiinnike tulee 5–10 cm:n päähän kalusteesta.
- Kiinnikkeet asennetaan tasavälein siten, ettei silmä havaitse kiinnikeväleissä erovaisuuksia.
- Kelalla oleva kaapeli oikaistaan ennen asennuksen aloittamista. Muuten suoraan asentaminen ei onnistu.
- Kaapelit asennetaan listojen lähellä, katonrajassa ja ovenpielissä rakenteiden suuntaisesti.

Uppoasennus

Uppoasennus voidaan tehdä joko putkeen tai putkettomana. Jos uppoasennus tehdään putkeen, putken sisälle asennetaan ML- tai MK-johdinta. Putkettomassa asennuksessa taas käytetään erityismääräykset huomioon ottaen yleisimmin MMJ-kaapelia. Putketonta asennusta tehtäessä kaapelille täytyy jättää varaa liikkua eikä kaapeleita saa asentaa risteämään toisiaan. Liikkumavara on riittävä, kun kaapelilla on sivusuunnassa väljyyttä puolen kaapelin verran.

Asennuskalusteet

Sähkölaitteet valitaan ja asennetaan sen mukaan, minkälaisten ulkoisten tekijöiden vaikutukseen ne joutuvat. Asennuskalusteet jaetaan kuivan tilan ja kostean tilan kalusteisiin. Kostean ja märän tilan kalusteet ovat kotelointiluokaltaan vähintään IP44.

Kuiva tila on huone tai huoneen osa, jossa ilma on niin kuivaa, ettei seiniin, kattoon tai sähkölaitteiden pinnalle normaalikäytössä tiivisty kosteutta. Kuivia tiloja ovat esimerkiksi asuinhuoneet, asuinhuoneistojen keittiötilat, WC:t ja eteiset.

▲ Kuivan tilan kytkin

Kostea tila on huone tai huoneen osa, jossa seiniin, kattoon tai sähkölaitteiden pinnalle toisinaan kertyy kosteutta pisaroiksi. Kosteita tiloja ovat esimerkiksi suurkeittiöt ja lämmittämättömät ja eristämättömät varastot.

Märkä tila on huone tai huoneen osa, jossa ilma on usein niin kostea, että seinille, kattoon tai sähkölaitteiden pinnalle tiivistyvä vesi muodostaa pisaroita tai laitteet ovat alttiina roiskuvalle vedelle. Märkiä tiloja ovat esimerkiksi laajan hallin rajattu pesualue ja suurkeittiön pöytätason alapuolinen tila, jos keittiötä pestään vesisuihkulla.

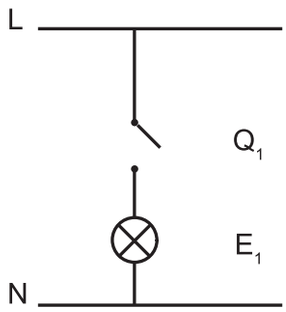
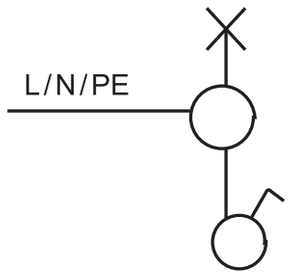
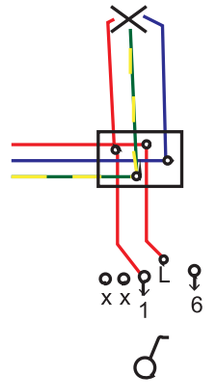
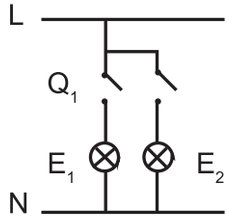
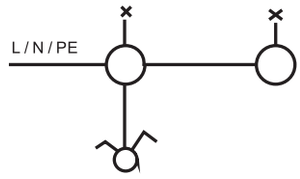
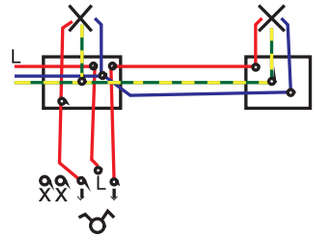
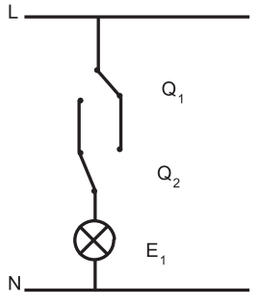
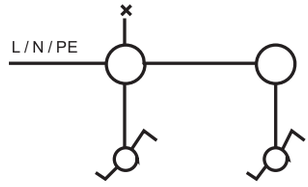
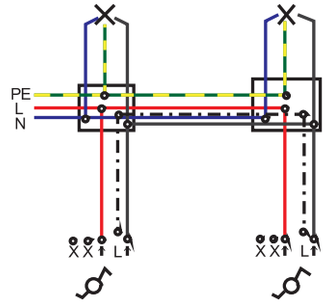
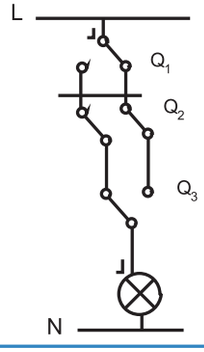
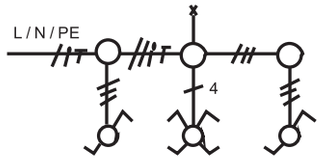
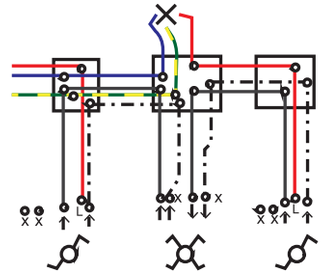
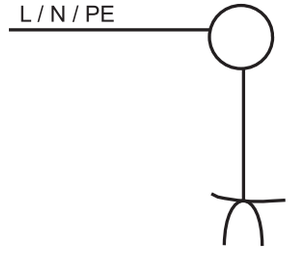
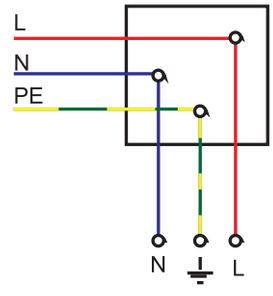
▲ Roiskevesitiivis kytkin

Kytkimet piirretään auki-asennossa. Käytännössä 1-kytkin ja 6-kytkin ovat samassa kytkimessä 1/6-kytkin, jossa 1-kytkin kytketään 1-napaan ja 6-kytkin 1- ja 6-napaan.

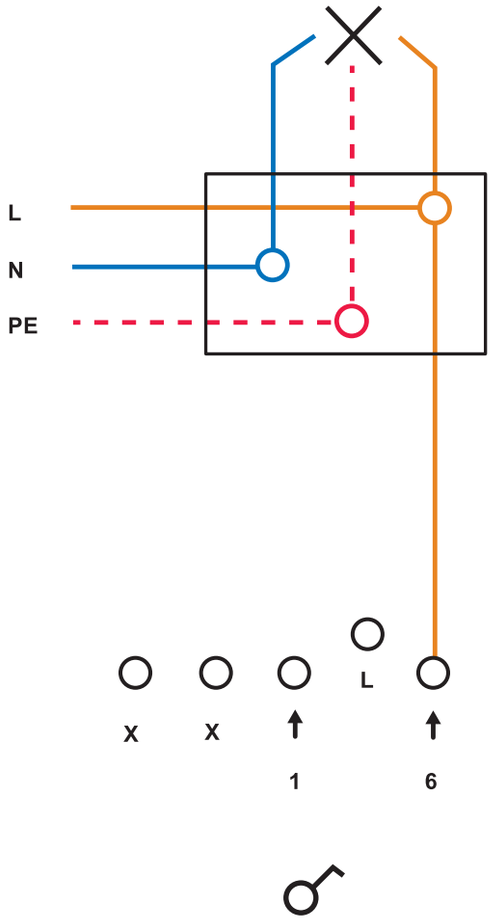
Kytkimissä tulevan vaiheen paikka on merkitty kirjaimella L tai P ja lähtevän vaiheen paikka nuolella. Lisäliittimet taas on merkitty kirjaimella X tai B. Lisäliittimiin kytketään johtimet (N ja PE), jotka jatketaan kytkimeltä esimerkiksi pistorasiaan.

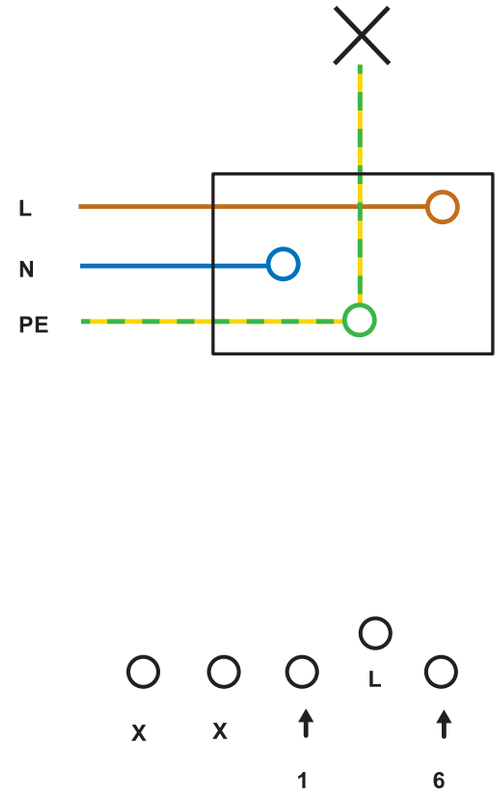
Kun liitinreiät ovat pistorasiassa vaakasuorassa, sen johtimet kytketään vaihejohdin oikealle ja nollajohdin vasemmalle. Vastaavasti kun liitinreiät ovat pystysuorassa, johtimet kytketään vaihejohdin alas ja nollajohdin ylös.

Sähkökytkentöjen piirustuksista ilmenee, miten kytkennät tehdään. Kytkennän piirikaavio kertoo koko kytkennän toimintaperiaatteen. Moniviivapiirroksen avulla tehdään itse kytkentä, ja yksiviivapiirros on piirros, joka annetaan sähköasentajalle kytkennän tekemistä varten.

Kytkin	Kytkennän piirikaavio	Yksiviivapiirros	Moniviivapiirros
1-kytkin eli yksinapainen kytkin			
5-kytkin eli kruunukytkin eli sarjakytkin			
6-kytkin eli vaihtokytkin eli käytävä-kytkin			
7-kytkin eli ristikytkin			
Pistorasia			

1 Kytkentä on virheellinen. Piirrä korjattu kytkentä viereen ja vastaa kysymyksiin



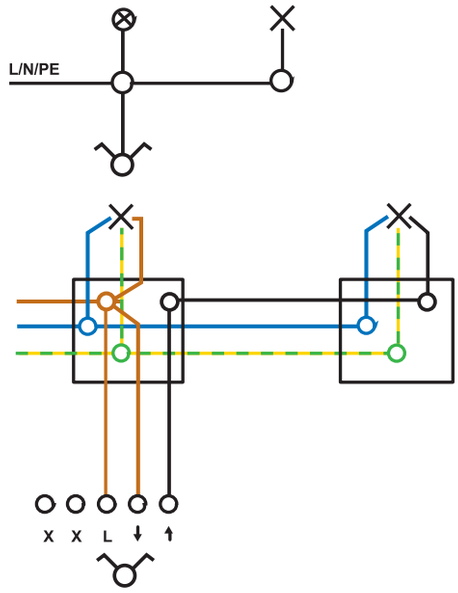


a) Mitä virheitä kuvassa oli?

b) Miten korjasit virheet, jotta kytkin toimii oikein?

TEHTÄVIÄ

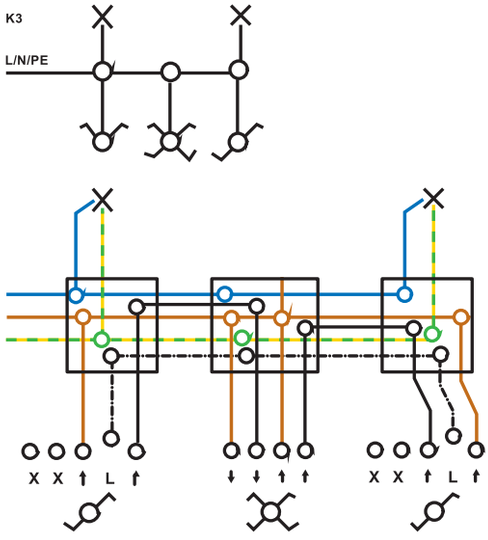
2 Kytkentä on virheellinen. Piirrä korjattu kytkentä viereen ja vastaa kysymyksiin. Piirrä yksiviivapiirrokseen tarvittavat johdinmerkinnät.



a) Mikä virhe kytkennässä oli?

b) Miten korjasit kytkennän, jotta se toimii oikein?

3 Kytkentä on virheellinen. Piirrä korjattu kytkentä viereen ja vastaa kysymyksiin. Piirrä yksiviivapiirrokseen tarvittavat johdinmerkinnät. Piirrä myös korjatun kytkennän toimintaperiaate.

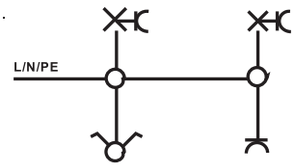


a) Mikä virhe kytkennässä oli?

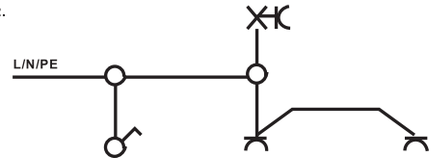
b) Miten korjasit kytkennän, jotta se toimii oikein?

4 Piirrä moniviivapiirros yksiviivapiirroksesta. Lisää yksiviivapiirrokseen kaapelimerkinnät.

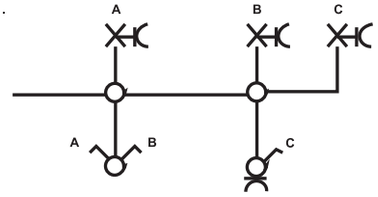
1.



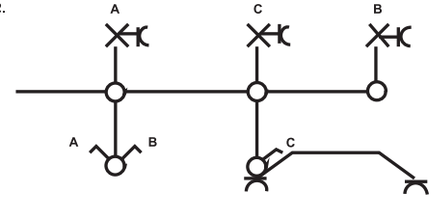
2.



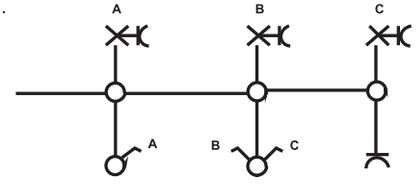
1.



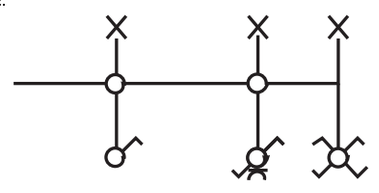
2.



1.



2.



Vikavirtasuojaus

Tavalliset maallikoiden käyttämät enintään 20 A:n pistorasiat pitää suojata enintään 30 mA:n **vikavirtasuojauksella. Vikavirtasuojakytkin** on pakollinen kaikissa niissä pistorasioissa, joihin voidaan liittää siirrettävä sähkölaite. Vikavirtasuojakytkimiä on keskukseen liitettäviä, suoraan pistorasiaan liitettäviä ja siirrettäviä.

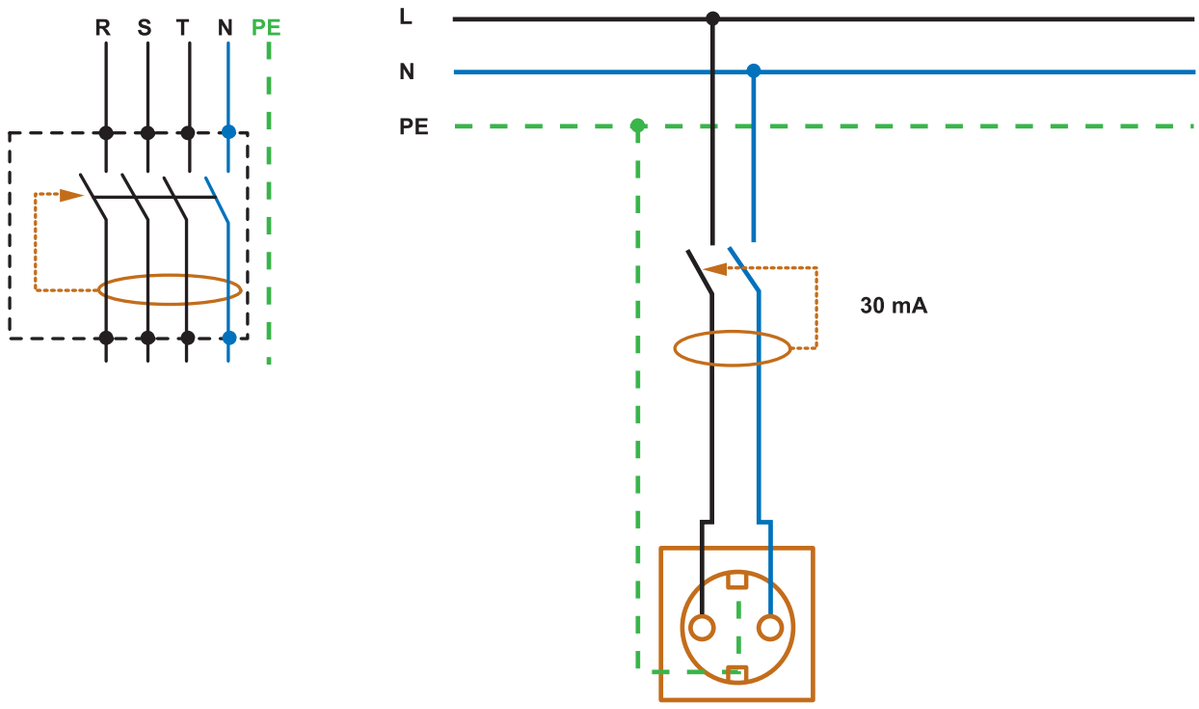
Keskukseen liitettävä vikavirta-suojakytkin

Seinäpistorasiaan liitettävä vika-virtasuojakytkin

Vikavirtasuojakytkimen tarkoitus on suojata sähkölaitteen käyttäjää laitteen vikaantuessa. Sen avulla voidaan myös vähentää vikaantuneesta laitteesta johtuvia sähköpaloja. Vikavirtasuojakytkin katkaisee virran mahdollisen eritysvian sattuessa.

Vikavirtasuojakytkin asennetaan keskukseen ennen suojattavaa laitetta täydentämään sulakkeen antamaa suojaa. Sähköturvallisuuslain mukaan kaikki pistorasiaryhmät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta (kiuas, pistorasiat, joihin kytketään jääkaappi tai pakastin jne.) on suojattava vikavirtasuojakytkimellä.

Vikavirtasuojakytkimen kautta asennetaan vaihe- ja nollajohdin. Koska vaihejohdin on menevän virran johdin ja nollajohdin taas paluuvirran johdin, vikavirtasuojakytkin pienentää näiden kahden summaa.

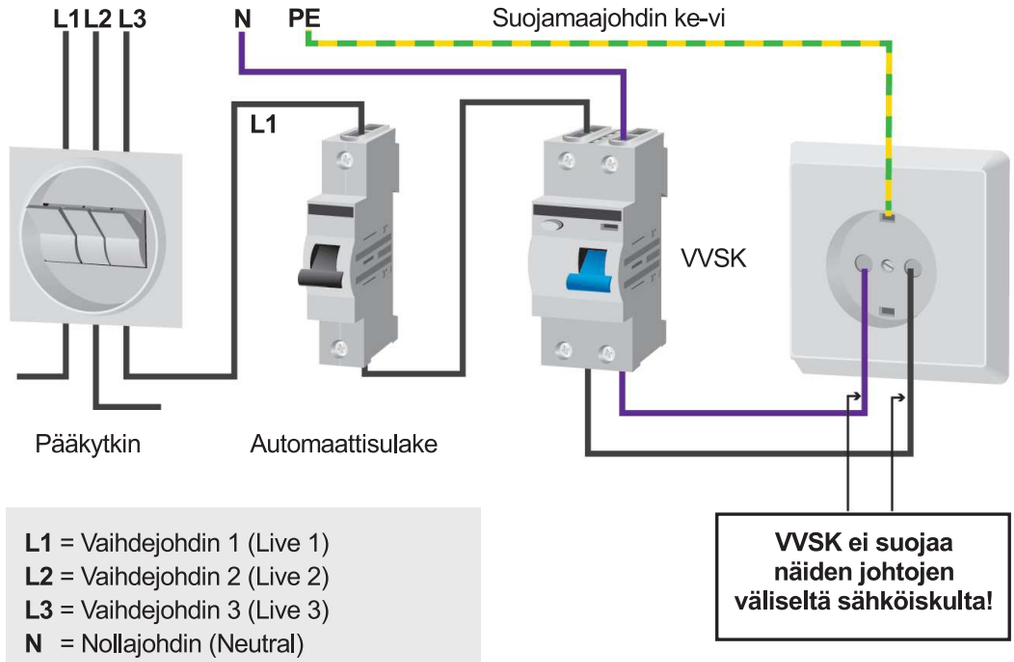


Henkilösuojaukseen tarkoitettu vikavirtasuojakytkin katkaisee virran ennen kuin vaiheen nollan virran välinen ero on 30 mA.

1 x 10 A:n johdonsuoja-katkaisija

3 x 16 A:n johdonsuoja-katkaisija

Kiinteistöasennuksissa tarvitaan pääasiassa 10 A:n ja 16 A:n johdonsuojakat-kaisijoita. Näitä voidaan asentaa joko yksi- tai kolmevaiheisena.

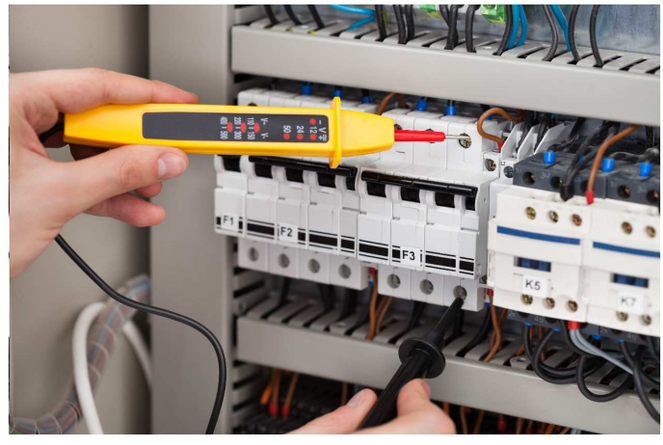


▲ Vikavirtasuojakytkimen ja johdonsuojakatkaisijan kytkentä

Jännitteettömät käyttöönottotarkastukset

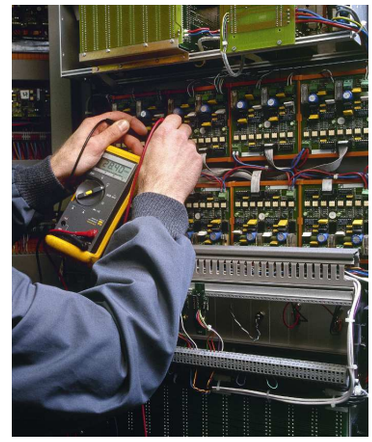
▲ Jännitteenkoetin

Sähköturvallisuuslaki velvoittaa tekemään sähköasennukset siten, ettei niistä aiheudu vaaraa kenenkään terveydelle tai omaisuudelle. Käyttöönottotarkastus tehdään aina kaikille asennuksille. Aistinvaraisia tarkastuksia tehdään koko asennuksen ajan. Muut tarkastukset todetaan mittaamalla asennustesterillä.



▲ Jännitteenkoettimen käyttö

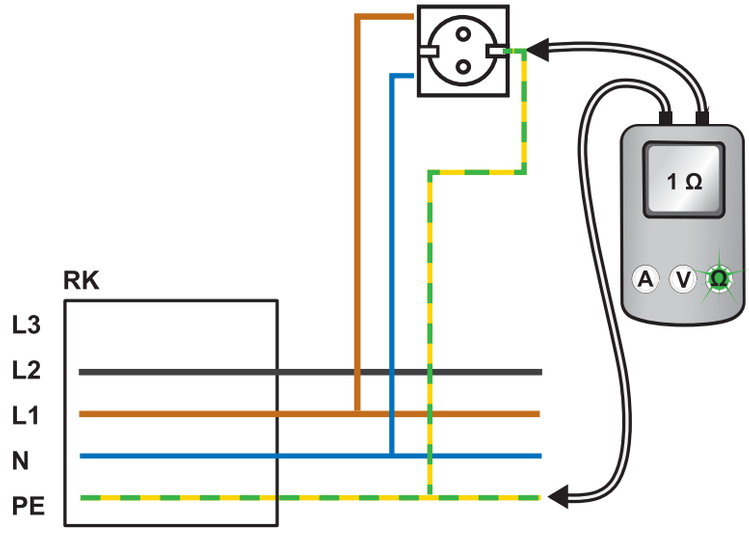
Jännitteenkoettimella todetaan jännitteettömyys ennen kuin asennustöitä aloitetaan. Asennustesterin avulla taas varmistetaan, että asennus on tehty oikein ja huolellisesti.



Asennustesterin käyttö

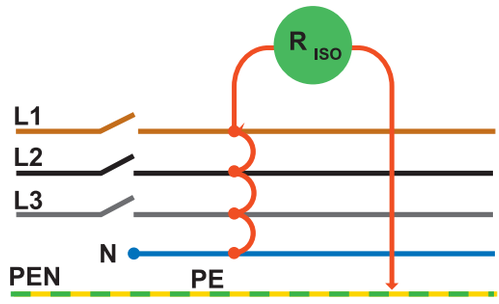
Aistinvaraisia tarkastuksia sähköasentaja tekee koko asennustyön ajan ennen muita testauksia, kun asennus on jännitteetön. Samalla asentaja tarkastaa aistinvaraisesti, että asennus on tehty hyviä ja hyväksyttyjä asennustapoja noudattaen. Varsinkin piiloon jäävät asennukset on tarkastettava työtä tehtäessä. Kaikki havaitut puutteet on syytä korjata heti, mutta kuitenkin viimeistään ennen laitteiston käyttöönottoa.

Suojajohtimien jatkuvuus on todettava mittaamalla. Tällä testauksella selvitetään, että vikasuojauksen edellyttämät suojajohdinpiirit jatkuvat koko matkan eli liitokset on tehty kunnollisesti. Huonosti kiristetyt liitokset aiheuttavat vaaratilanteen. Testaus tehdään jännitteettömässä laitteistossa. Tärkeintä tässä mittauksessa on, että jokainen suojajohdinyhteys mitataan jokaiselle laitteelle erikseen.



Sähkölaitteiston eristysresistanssimittauksella varmistetaan, että jännitteiset osat (vaiheet ja nolla) on riittävästi eristetty maasta ja ettei N- ja PE- johdinta ole kytketty yhteen. Mittaus tehdään eristysresistanssimittarilla jännitteettömässä asennuksessa ennen laitteiston käyttöönottoa. Mittaus voidaan tehdä keskuskohtaisesti yhdestä pisteestä, joka kattaa kaikki asennukset kokonaan. Mittauksen ajaksi irrotetaan elektroniikkaa sisältävät kulutuskojeet (TV, jääkaappi, pakastin yms.) asennuksen yhteydestä.

Eristysresistanssimittaus



Mittaus tehdään tasavirralla, ja testauslaitteen on pystyttävä syöttämään 1 mA:n virta koejännitteessä.

Eristysresistanssin pienimmät sallitut arvot

Virtapiirin nimellisjännite V	Koejännite (tasajännite) V	Eristysresistanssi MΩ
SELV, PELV	250	> 0,25
Enintään 500 V	500	> 0,5
Yli 500 V	1000	> 1,0

Eristysresistanssi on riittävän hyvä, jos se on vähintään yhtä suuri kuin taulukossa esitetyt arvot.

Käyttöönottotarkastusten yhteydessä tarkastuksesta tehdään aina käyttöönottotarkastuspöytäkirja.

Kuvalähteet

Valokuvat

Korhonen, Emmi: s. 83 (alh.), 237 (ylh. oik)

Mostphotos: s. 9 (alh.), 10, 13, 14, 24, 65 (ylh.), 70, 83 (ylh.), 98, 106, 111, 183, 195, 221 (alh. oik.), 234 (alh. oik), 258 (oik.), 259

Ollila, Heli: s. 99, 221 (alh. vas, alh. kesk.), 233 (alh.), 256 (oik.)

Salonen-Karabulut, Satu: s. 9 (ylh.), 25, 26, 65 (alh.), 74, 75, 76, 149–150, 151 (alh.), 152, 154, 156 (alh.), 157, 158, 162, 175, 220, 221 (ylh.), 222–224, 229–231, 233 (ylh., kesk.), 234 (pl. alh. oik.), 236, 237 (pl. ylh. oik.), 239, 242–244, 249, 251, 256 (vas.), 257, 258 (vas.)

Shutterstock: s. 155, 165, 168, 176 (ylh.), 177 (ylh. kesk.), 262

Vainio, Erkki: s. 151 (ylh.), 156 (ylh.), 159, 160, 166, 170, 171, 173, 174, 176 (alh.), 177 (ylh. oik.)

Piirrokset

Haarala, Ilpo: s. 44 (ylh.)

Kimpimäki, Katja: s. 31–41, 44 (alh.), 45–52, 56–63, 67 (alh.), 71, 72 (alh.), 78 (alh.), 81 (alh.), 82, 88 (ylh.), 90 (ylh.), 92 (ylh.), 101, 102 (alh.), 104 (alh.), 107, 108 (ylh.), 110 (kesk.), 113, 114–119, 122, 124, 125, 129-145, 157 (ylh. ja alh.), 161, 163 (ylh.), 169, 170, 177, 241, 244, 245, 247, 253–255, 257, 258–260

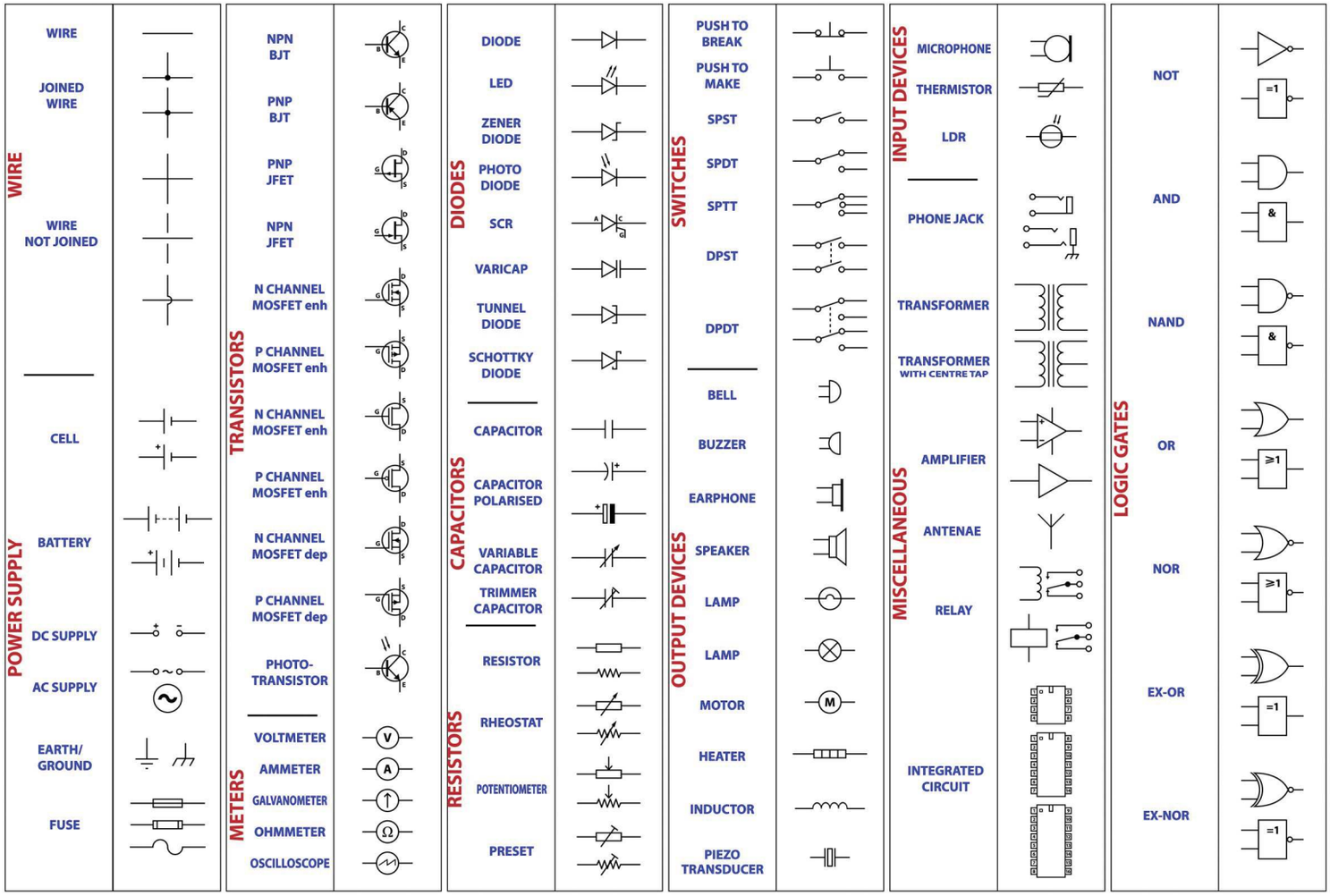
Saastamoinen, Nea: s. 18, 21 (ylh.), 24–26, 64, 66, 67 (ylh.), 68, 69, 72 (ylh.), 75, 76, 77, 78 (ylh.), 80, 81 (ylh.), 84, 85, 88 (alh.), 90 (alh.), 91, 92 (alh.), 93–95, 99, 100, 102 (ylh.), 104 (ylh.), 106, 108 (alh.), 110 (ylh. ja alh.), 112, 121, 123, 126, 127, 150, 181–183, 186, 190, 190–192, 197, 210, 227–229, 232, 235, 237, 240, 242, 252

Taskinen, Anne-Mari: s. 11–17, 20, 21 (alh.), 22–23, 28

Vainio, Erkki: s. 54, 146–148, 153, 156, 157 (kesk.), 159, 160, 163 (alh.), 164, 168, 174, 175, 178, 179

Virtalaakso, Katri: s. 194–196, 205, 208, 211, 215–217

Liite: Elektroniikan piirrosmerkkejä



RESISTOR CODES

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BLACK	BROWN	RED	ORANGE	YELLOW	GREEN	BLUE	VIOLET	GREY	WHITE

x0.01	x0.1
SILVER	GOLD

±10%	±5%	±2%	±1%
SILVER	GOLD	RED	BROWN

1 Sähkötyöturvallisuus

s. 13

1 Kerro, miksi seuraavat neuvot ovat hyödyllisiä jatkojohtoa tehtäessä

a) Älä koskaan liitä molempiin päihin sähkötulppaa.

Tällaista johtoa ei voi käyttää, johtoa ei voi liittää laitteeseen.

b) Älä käytä sisälle tarkoitettua jatkojohtoa ulkona.

Sisälle tarkoitettu jatkojohto on vaarallinen käyttää ulkona, koska siinä ei ole tarpeellista IP-suojausta.

c) Älä liitä useita johtoja peräkkäin.

Mitä enemmän liitetään jatkojohtoja peräkkäin, sitä vaarallisempaa sähkön käyttö on.

d) Älä liitä moniosaisiin jatkopistorasioihin suuritehoisia sähkölaitteita.

Saman sulakkeen taakse tulee helposti vahingossa liitettyä liikaa laitteita, jolloin sulake ei kestä.

e) Älä muuta millään tavoin johdon rakennetta.

Jos ei tiedä, mitä tekee, johdosta tulee vaarallinen käyttää. Rakenteen muuttamisen myötä johdosta saattaa tulla vaarallinen.

s. 14

2 Miksi vieressä olevan kuvan nippu on vaarallinen?

Siinä on selkeästi saman sulakkeen takana liikaa laitteita, jolloin sulake ei kestä kuormaa.

s. 18–20

1 Sähkötapaturmien perussyitä ovat
– vioittunut laite tai asennus
– määräysten vastainen laite tai asennus
– määräysten vastainen menettely.

Tutki seuraavia sähkötapaturmia (1–10) ja kerro tapauksittain, mikä oli tapaturman perussyy ja miten tapaturma olisi voitu välttää.

1. Mies kiipesi aamuyöllä ratapihalla seisseen tyhjän rikkihappovaunun katolle. Hän joutui liian lähelle suurjännitejohtoja ja kuoli voimakkaaseen valokaareen.

Määräysten vastainen menettely

2. Maallikko kuoli kotonaan sähköiskuun, jonka hän sai itse rakentamastaan, monilta osin kosketussuojaamattomasta valaisimesta.

Määräysten vastainen laite ja asennus

3. Maallikko sai kuolemaan johtaneen sähköiskun kotipihassaan koskettaessaan metallista jatkojohtokelaa. Kela oli tullut jännitteiseksi siihen kulkeneen jatkojohdon virheellisestä kytkennästä.

Määräysten vastainen asennus

4. Mies menehtyi asunnossaan omatoimisen keittiöremontin yhteydessä. Hän sai sähköasennusten jännitteisestä johdosta sähköiskun, joka kulki kädestä käteen. Mies kuoli sairaalassa.

Määräysten vastainen menettely

5. Mies oli ollut korjaamassa autoaan, ja hänet löydettiin sen alta kuolleena. Sähköisku oli todennäköisesti tullut jännitteisestä kompressorilaitteen kuoresta.

Viallinen laite

6. Mies oli kotonaan rakentamassa terassia sateisella säällä. Poratessaan hän yhtäkkiä kaatui maahan. Hänet vietiin sairaalaan, ja hän kuoli siellä myöhemmin. Porakoneen liitäntäjohto todettiin haurastuneeksi, ja siihen oli kiinnitetty rautalangalla istukankiristin.

Määräysten vastainen asennus

7. Verkkoyhtiön kolmesta sähköasentajasta koostunut työryhmä oli asentamassa sähköliittymien etäluennan käyttöönottoon liittyvää laitetta 20 kV:n pylväsmuuntajan kanteen. Työkohde erotettiin muuntajaerottimella (kuormanerotin) ja erottimen avausväli tarkastettiin silmämääräisesti. Muuntajan jännitteettömyyttä ei kuitenkaan varmistettu eikä kohdetta työmaadoitettu ennen töiden aloittamista, minkä seurauksena yksi sähköasentajista sai muuntajaa syöttävästä johdosta tappavan sähköiskun. Johdin oli jännitteinen, koska muuntajan pylväserottimen kolmesta vaiheesta yksi ei ollut auennut.

Määräysten vastainen menettely

8. Betonipumppausauton puomi osui 20 kV:n sähkölinjaan omakotitalotyömaalla, ja auton kuljettaja sai kuolettavan sähköiskun. Kuljettaja oli saanut kuorman purettua, ja hän oli kauko-ohjaimen avulla laskemassa 24 m:n pituista puomia alas kuljetusasentoon, kun puomi osui sähkölinjaan. Tiedossa ei ole koskettiko uhri autoon puomin osumahetkellä vai myöhemmin. Tapaturma sytytti uhrin vaatteet palamaan. Myös yksi auton renkaista tuhoutui. Paikalla olijoista ainakin osa altistui sähkölle heidän yrittäessään avustaa uhria. Ilmeisesti hyvin kuivan soramaan ja auton tukijalkojen alla olevien eristävien levyjen takia maasulkuvirta jäi niin pieneksi, ettei sähköverkon maasulkusuojaus laukaissut johtoa jännitteettömäksi. Auto oli pysäköity liian lähelle ilmajohtoa, vaakasuunnassa noin 1 m:n etäisyydelle.

Määräysten vastainen menettely

9. 19-vuotias nuori mies oli mennyt luvattomasti metroradalle. Vastustellessaan poishakuyritystä hän oli ilmeisesti tarttunut kiinni virtakiskosta ja saanut kuolettavan sähköiskun. Virtakisko on yläpuolelta suojattu muovilla mutta alapuolelta avoin.

Määräysten vastainen menettely

10. Onkija sai onkikilpailun aikana kuolettavan sähköiskun 20 kV:n avojohdosta hiilikuituvavan välityksellä. (Mukailtu lähteestä Tukes 2015.)

Määräysten vastainen menettely

s. 21

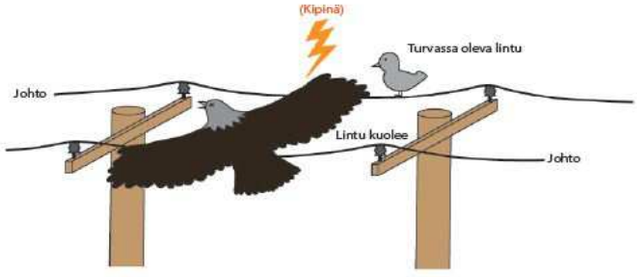
1 Mistä johtuu, että maallikoille sattuu enemmän sähkötapaturmia ja ammattilaisille taas enemmän valokaaritapaturmia?

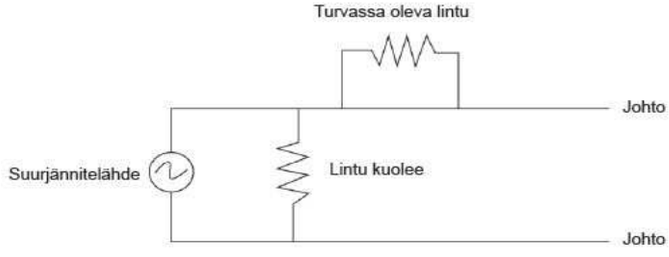
Maallikot tekevät maallikoille sallittuja sähkötöitä, joissa ei ole suurta vaaraa. Ammattilaiset tekevät töitä myös jännitteisten laitteiden läheisyydessä tai jännitteisenä, jolloin valokaarivaara on suurempi. Valokaarionnettomuudet tapahtuvat usein suurjännitepuolella. Ammattilaisten tapaturmat johtuvat usein huomion herpaantumisesta ja rutinoitumisesta.

2 Kuvassa näkyy viisi vaaran paikkaa. Etsi ne ja kerro, miten ne voitaisiin ehkäistä.

Yläkerran tietokonehuoneessa on jatkojohto vaarallisesti ovensuussa. Kylpyammeessa käytetään sähkölaitetta. Silitysrauta on jätetty valvomatta kytketyksi. Vauva voi kaataa silityslaudan. Poika kiskoo sähköjohtoa keskeltä johtoa.

3 Miksi lintu ei saa sähköiskua, vaikka sen molemmat jalat koskettavat johtoa? Entä miksi lintu saa sähköiskun, jos sen siivet osuvat samanaikaisesti kahteen eri sähköjohtoon?

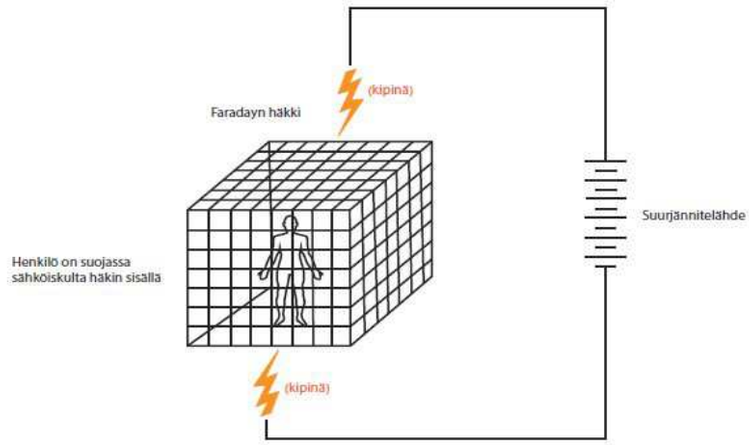




Jos linnun molemmat jalat osuvat yhtä aikaa samaan johtoon, se on sellaisessa sähkömagneettisessa kentässä, jossa vallitsee sama jännite kuin sähköjohdossa. Tällöin linnun kohdalla jännite-ero ei ole niin suuri, että se aiheuttaisi sähköiskun. Kun lintu koskettaa kahta eri johtoa samaan aikaan, johtojen välinen jännite-ero on niin suuri että se voi aiheuttaa sähköpurkauksen.

s. 22

4 Faradayn häkiksi kutsuttu turvalaite suojaa sähköiskulta ketä tahansa, joka on häkin sisällä. Faradayn häkki on tehty lähekkäin olevista metallisista tangoista. Selitä sähkötekniikan periaatteiden mukaan, miten maapiste suojaa ihmistä Faradayn häkin sisällä, vaikka häkin metallissa kulkee suuri jännite. Keskustele lisäksi parin kanssa siitä, kuinka tämä sääntö käyttäytyy esimerkiksi metallirunkoisissa autoissa.



Englantilaisen fyysikon Michael Faradayn keksimä Faradayn häkki on johtavasta aineesta tehty suljettu häkki, jota sähkökenttä ei läpäise. Metallin pinnalla olevat varauksenkuljettajat toimivat siten, että positiiviset varaukset ovat sähkökentän kanssa samaan suuntaan ja negatiiviset varaukset ovat vastakkaisella puolella. Nämä varaukset luovat oman sähkökenttänsä, jolloin ulkopuolinen varaus ei pääse häkin sisäpuolelle. Auton metallirunko toimii Faradayn häkkinä.

5 Magnetismi

s. 129–130

1 Millä yleisesti käytössä olevalla laitteella magneettikenttä voidaan todeta?

Kompassilla

2 Missä kaikissa arkipäivän tilanteissa käytetään kestomagneetteja?

Sähkömoottori, generaattori, dynaaminen kaiutin ja mikrofoni, jääkaapin ovi, leikkikalut jne.

3 Maapallolla on oma magneettikenttä. Mikä magneettinen napa on pohjoisnavalla ja mikä etelänavalla?

Karttapohjoisessa on magneettinen etelänapa (S) ja karttaetelässä magneettinen pohjoisnapanapa (N).

4 Kuinka monta teslaa on maapallon magneettikenttä? Onko sen suuruus mielestäsi iso vai pieni?

Maapallon magneettivuon tiheys on 5E–5T. Pieni.

5 Kompassin karttapohjoista osoittava napa on yleensä punainen nuoli. Onko se N- vai S-napa?

Nuoli on magneettineulan N-napa. (Erimerkkiset navat vetävät toisiaan puoleensa. Karttapohjoisessa on magneettinen S-napa.)

6 Onko mahdollista tehdä magneetti, jossa on vain N-napa tai vain S-napa. Perustele vastauksesi.

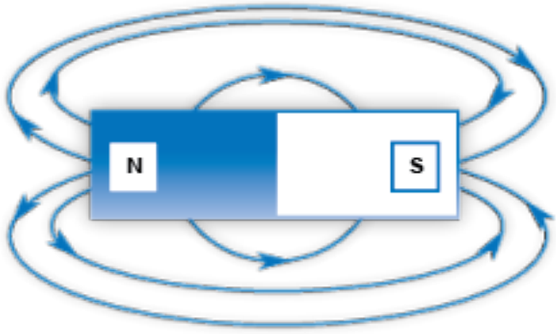
Ei ole. Aina kun magneettia pilkotaan, siihen muodostuu luonnon lakien mukaisesti kaksi napaa: N ja S.

7 Miten kompassi toimii?

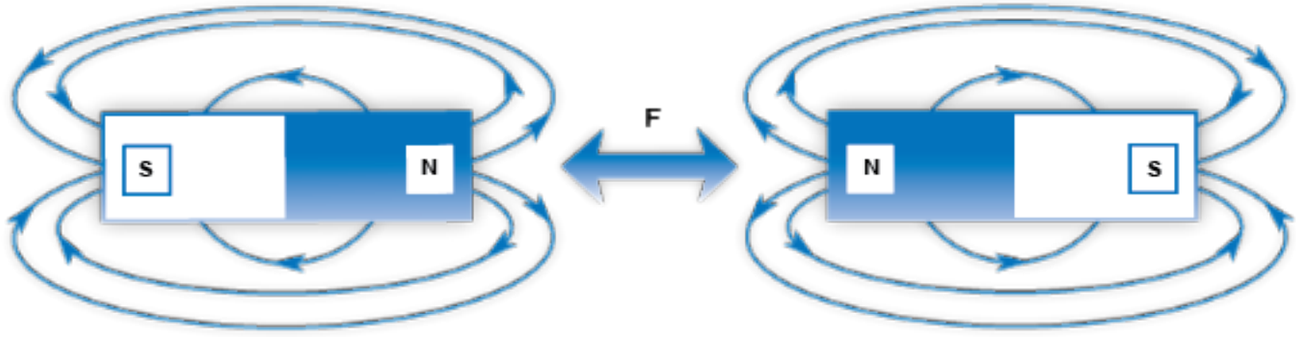
Kompassin neula on pieni alkeismagneetti, joka on laakeroitu keskeltä. Maan magneettikenttä pystyy liikuttamaan neulaa. N-napa osoittaa aina karttapohjoisen suuntaan (tai näyttää S-navan puolen esim. kelasta).

8 Piirrä kuva a) kestomagneetista, merkitse navat ja piirrä kenttäviivat, b) kahdesta magneetista, jotka ovat vastakkain, siten että niiden vastaiset navat ovat saman merkkiset. Merkitse navat ja piirrä kenttäviivat. Kumpi kuvassasi on, veto vai työntövoima?

a)



b)



työntövoima

s. 132

1 Miten alkeismagneetti syntyy?

Aineessa atomin elektroni pyörii akselinsa ympäri muodostaen alkeismagneetin.
Kun aineen atomissa tai molekyylissä useampi elektroni pyörii samaan suuntaan, voidaan havaita ulospäin magneettikenttä.

2 Miten magneettikentän voimakkuuden käy, jos elektronien pyöriminen kiihtyy suuremmaksi?

Magneettikentän voimakkuus kasvaa. Aineen fysikaaliset ominaisuudet rajoittavat.

3 Miten magneettikentän käy, jos elektronit lakkaavat pyörimästä akselinsa ympäri?

Magneettisuus häviää.

s. 133–134

1 Miksi remanenssi eli jäännösmagnetismi on tärkeä ilmiö magnetismissa?

Se on ilmiö, jonka vuoksi voidaan valmistaa kestomagneetteja. Mitä suurempi remanenssi on, sitä voimakkaampi magneetti on.

2 Miksi releen rautasydämen on oltava magneettisesti pehmeää ainetta?

Magneettisuuden on hävittävä rautasydämestä, jotta palautusjousi pystyy avaamaan releen kärjet. Rautasydämellä on näin ollen pieni remanenssi

3 Toimiiko kuvan rele, jos kelan ohjausjännitteen napaisuus vaihtuu? Perustele.

Toimii yhtä hyvin. Virran suuruus on sama. Sen suunta vain vaihtuu.

4 Mieti, voisiko releessä olla useampia kontakti-kosketinpareja. Perustele.

Releessä voi olla useita avautuvia ja sulkeutuvia kosketinpareja ja vaihtokoskettimia. Vaihtokoskettimessa on yksi yhteinen kosketin, joka on yhteydessä avautuvaan koskettimeen ja releen vetäessä sulkeutuvaan koskettimeen.

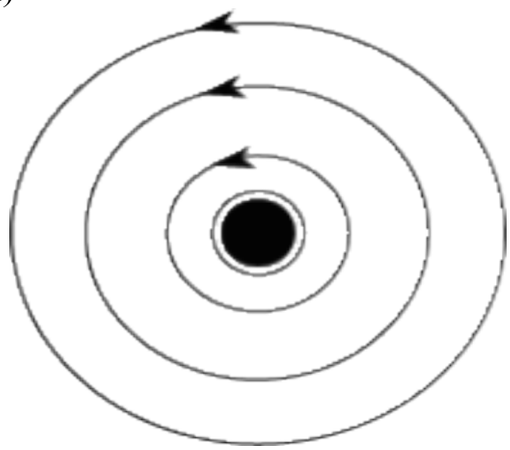
s. 136

1 Selvitä oikean käden peukalosäännön avulla, mikä on virrallisen johtimen ympärilleen muodostaman magneettivuon suunta.

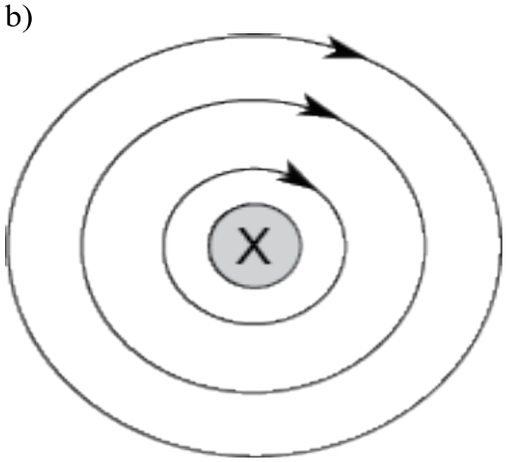
Kun johtimen virta kulkee peukalon suuntaan, sormet osoittavat magneettikentän suunnan.

2 a) Piirrä kuva johtimesta tasolle, jossa virta kulkee katsojaa kohti. Piirrä kuvaan magneettikentän suunta. b) Piirrä kuva johtimesta tasolle, jossa virta kulkee katsojasta poispäin. Piirrä kuvaan magneettikentän suunta.

a)



b)



s. 137

1 Laske sähkömagneetin magnetomotorinen voima, kun kelassa on 800 kierrosta ja sen läpi kulkee 10 A:n virta.

$F_m = NI$
$F_m = 800\ \text{k} \cdot 10\ \text{A} = 8\ 000\ \text{Ak}$

2 Kelan läpi kulkee 3 A:n virta. Laske, kuinka monta kierrosta kelassa on oltava, jotta nostovoima pysyy samana.

Yhtälöstä $F_m = NI$, ratkaistaan N, jolloin saadaan
$N = F_m/I$
$N = 8000\ \text{Ak}/3\ \text{A} = 2667\ \text{k}$

s. 139 ylhäällä

1 Laske, mikä on johtimien välinen voima, jos edellä olevan esimerkin johtimet ovat 10 cm:n etäisyydellä toisistaan ja johtimien virta on 500 A.

$I = 9 \cdot 50\ \text{m} = 450\ \text{m}$, $k = 2 \cdot 10^{-7}\ \text{N/A}^2$, I^1 ja $I^2 = 500\ \text{A}$, $a = 0{,}10\ \text{m}$
Vastaus: 225 N

s. 139 alhaalla

1 Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

Oikealle. (Kun vain toisen, johtimen virran tai ulkoisen kentän suunta vaihtuu, kuvattu tilanne muuttuu päinvastaiseksi.)

2 Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos johtimen virran suunta vaihtuu?

Oikealle. (Kun vain toisen, johtimen virran tai ulkoisen kentän suunta vaihtuu, kuvattu tilanne muuttuu päinvastaiseksi.)

3 Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos johtimen virran suunta vaihtuu ja ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

Vasemmalle. (Koska molemmat, johtimen virran ja ulkoisen kentän suunnat vaihtuivat, tilanne pysyy samana.)

s. 142

1 Miksi tasasähkömoottori pyörii?

Ulkoisessa magneettikentässä olevaan, laakeroituun johdinvyyhteen ohjataan hiiliharjojen kautta sähkövirta. Virta saa aikaan magneettikentän johtimeen.
Magneettisten voimien (ulkoisen kentän ja johtimen) vaikutuksista johdinvyyhti lähtee liikkeelle, pyörimään. Sähkövirran suunta johdinvyyhdessä vaihdetaan ja magneettinen voimavaikutus jatkuu pyörittäen johdinvyyhteä.

2 Miksi tarvitaan kommutaattoria eli virran suunnan kääntäjää?

Jotta johdinvyyhteen pyöriminen jatkuu samansuuntaisena, kuin se alussa oli kun virta kytkettiin.

3 Miten saadaan moottori pyörimään kumpaankin suuntaan, vastapäivään ja myötäpäivään?

Järjestämällä relekytkentä, joka muuttaa sähkölähteen napaisuuden, kun halutaan vaihtaa pyörimissuuntaa

4 Miksi tasasähkömoottorissa tarvitaan ulkoinen magneettikenttä?

Sen avulla syntyy magneettinen voimavaikutus, joka saa aikaan johdinvyyhteen pyörähtämisen yhdessä vyyhteen sähkövirran aiheuttaman magneettisen kentän kanssa.

s. 144

1 Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos silmukan pyörähdyssuunta vaihtuu? Miten käy virtojen A ja B.

Voima vaikuttaa pyörähdyssuuntaa vastaan eli päinvastoin kuin kuvassa. Virtojen suunnat vaihtuvat päinvastaisiksi

2 Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

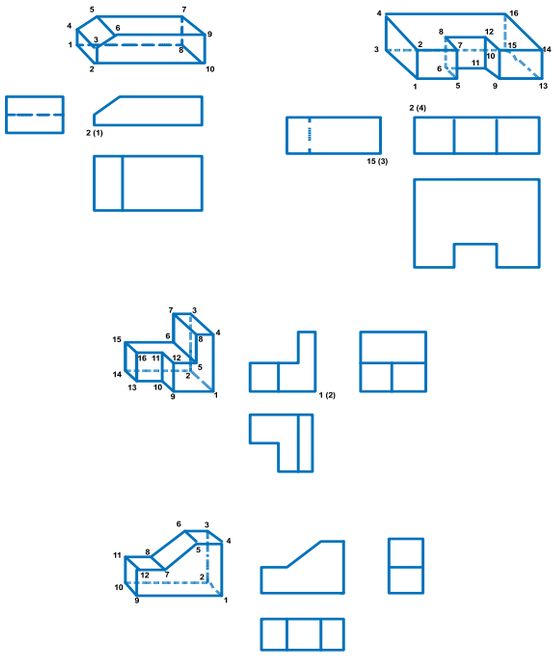
Voiman suunta vaihtuu päinvastaiseksi kuin kuvassa.

3 Mihin suuntaan johtimeen vaikuttava voima vaikuttaa, jos silmukan pyörähdyssuunta vaihtuu ja ulkoisen kentän napaisuus vaihtuu?

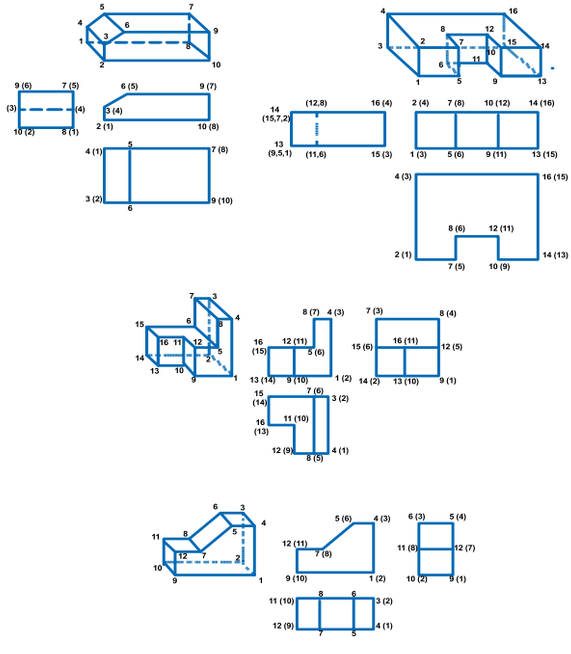
Ei muutu. Voima vaikuttaa samoin kuin kuvassa.

s. 34–35

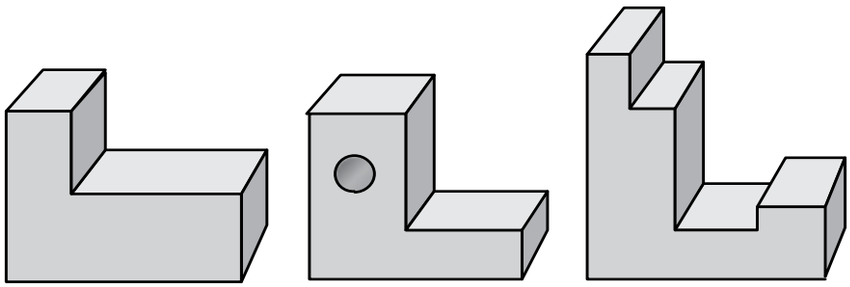
1 Merkitse projektiokuviin nurkkapisteet siten, että piiloon jäävät merkitään sulkuihin.



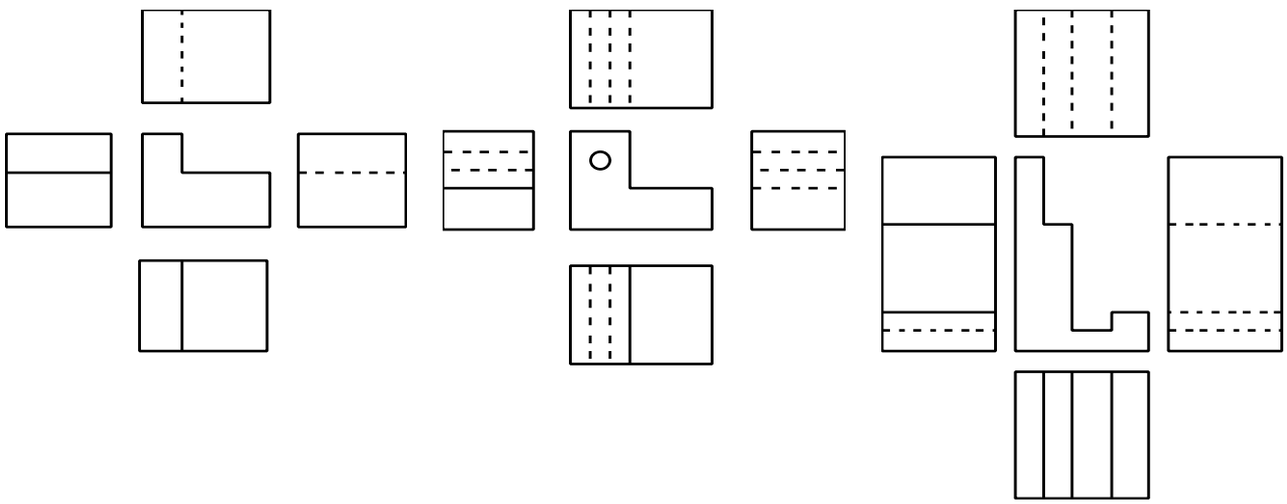
Vastaus:



2 Piirrä kappaleiden kohtisuorat projektiot.



Vastaus:



s. 40

1 Miksi kukin mitta esitetään mitoitusta tehtäessä vain kerran?

Jos mitta muuttuu myöhemmin, sitä ei ehkä huomata vaihtaa kaikissa kuvissa. Tämä saattaa aiheuttaa hämmennystä valmistusvaiheessa.

2 Kuinka monta projektiota kappaleesta piirretään?

Niin monta kuin on tarpeellista kaikkien mittojen esittämiseksi

3 Millä viivatyylillä esitetään kappaleen muotoviiva? Entä keskiviiva?

Kappaleen muotoviiva on ehyt leveä viiva. Keskiviiva esitetään kapealla pistekatkoviivalla.

4 Mikä on ketjumitoituksen huono puoli?

Valmistusvaiheessa väärin otettu mitta aiheuttaa muissa mitoissa tämän jälkeen myös virheen.

5 Minkä suuntainen on mittaviiva?

Mittaviiva on kappaleen muodon suuntainen.

6 Kuinka suuri väli muotoviivasta on ensimmäisellä mittaviivalla?

Ensimmäinen mittaviiva on 12 mm:n etäisyydellä muotoviivasta.

7 Jos mitta puuttuu, sitä ei saa mitata piirustuksesta. Miksei?

Kuvan koko on muuttunut kopioinnissa tai tulostuksessa, jolloin kuva ja mitoitus eivät täsmää keskenään. Epäselvässä tapauksessa on käännyttävä suunnittelijan puoleen.

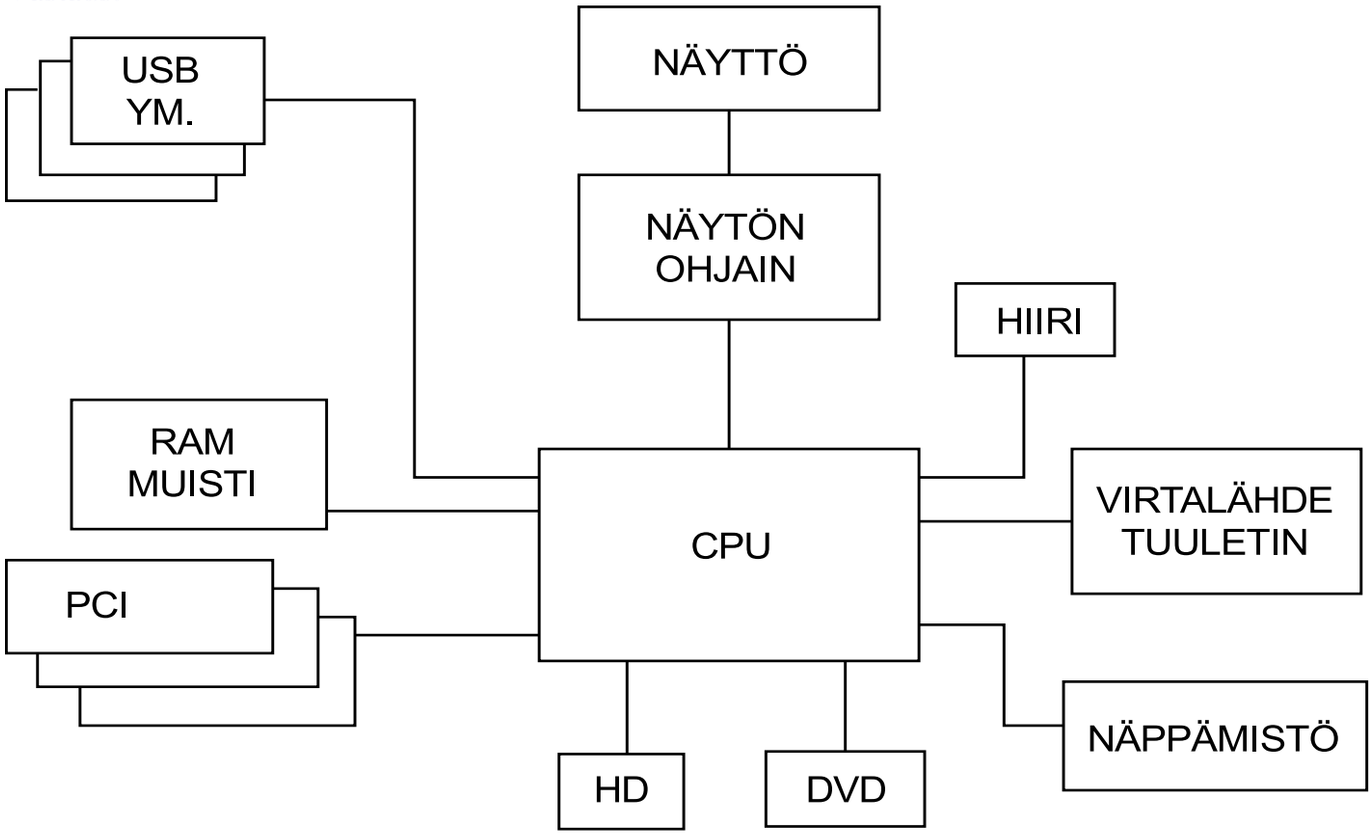
8 Mikä on mittayksikkö koneenpiirustusten mitoissa?

Mitat esitetään millimetreinä.

s. 53

1 Piirrä tietokoneen lohkokaavio.

Vastaus:



3 Tasasähkötekniikka

s. 68

1 Ympyröi oikeat vaihtoehdot:

Sähkövirta on	Jännite
a) protonien liikettä	a) pakottaa elektronit liikkeelle
b) elektronien liikettä	b) pitää elektronit paikoillaan
c) neutronien liikettä	c) pitää yllä sähkövirtaa

Vastaus: Sähkövirta on elektronien liikettä (b) ja Jännite pakottaa elektronit liikkeelle (a)

s. 69

2 Sähkötekniikan kolme perussuuretta ovat virta, jännite ja resistanssi. Mistä suureesta on seuraavissa tapauksissa kysymys?

Saa aikaan lampun palamisen

Virta

Ylläpitää sähköenergian siirtymistä

Jännite

Estää oikosulun

Resistanssi

Saa aikaan sähkökiukaan lämpenemisen.

Resistanssi

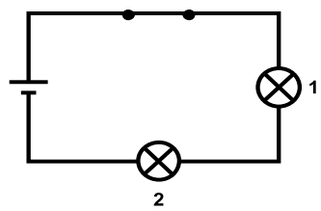
3 Kuvan kytkennässä on mittauspisteet A–F. Merkitse taulukkoon kunkin pisteen potentiaali ilmoitettuun nollatasoon verrattuna.

	Potentiaali / V					
Nollataso	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
A	0 V	–1,0 V	–2,5 V	–3,0 V	–5,0 V	–6,5 V
B	1,0 V	0 V	–1,5 V	–2,0 V	–4,0 V	–5,5 V
C	2,5 V	1,5 V	0 V	–0,5 V	–2,5 V	–4,0 V
D	3,0 V	2,0 V	0,5 V	0 V	–2,0 V	–3,5 V
E	5,0 V	4,0 V	2,5 V	2,0 V	0 V	–1,5 V
F	6,5 V	5,5 V	4,0 V	3,5 V	1,5 V	0 V

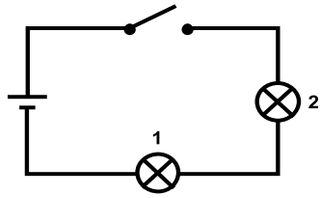
s. 72

1 Avoin ja suljettu virtapiiri. Mitkä lampuista palavat?

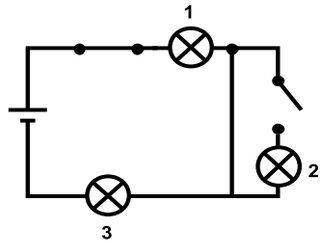
1.



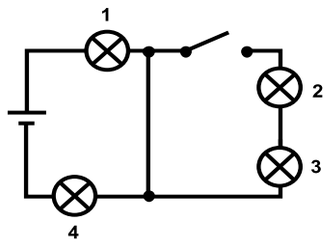
2.



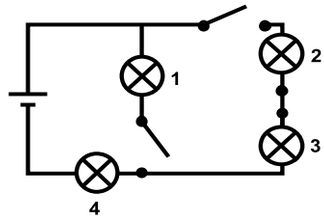
3.



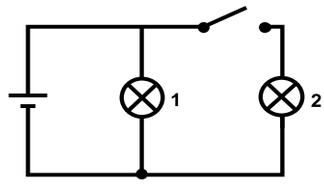
4.



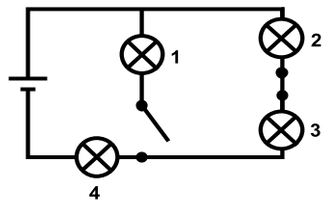
5.



6.



7.



1. 1 ja 2
2. ei kumpikaan
3. 1 ja 3
4. 1 ja 4
5. ei mikään
6. 1
7. 2, 3 ja 4

3 Tasasähkötekniikka

s. 74

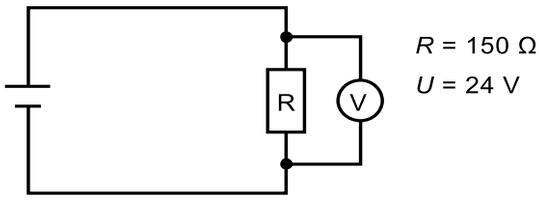
1 Etsi ristikosta 20 sähköön liittyvää sanaa.

R	K	F	T	O	O	V	X	E	V	A	R	A	U	S
E	V	O	L	T	T	I	J	L	S	F	G	S	U	P
S	Y	R	D	G	U	R	Y	E	Ä	A	K	K	U	P
I	J	Ä	N	N	I	T	E	K	H	P	R	D	S	A
S	Y	T	T	V	O	A	R	T	K	U	O	R	M	A
T	Q	A	Q	I	I	D	I	R	Ö	O	H	M	I	K
A	J	S	T	R	K	W	S	O	L	L	K	P	Ö	Ä
N	P	A	C	T	O	B	T	N	Ä	I	K	J	H	M
S	A	S	C	A	S	N	E	I	H	J	O	H	D	E
S	R	Ä	F	P	U	N	N	J	D	O	O	P	I	U
I	I	H	O	I	L	K	I	H	E	H	I	U	U	K
E	S	K	E	I	K	U	N	J	E	D	A	A	I	D
S	T	Ö	U	R	U	U	A	M	P	E	E	R	I	S
A	O	V	O	I	M	A	L	A	I	T	O	S	U	T
A	I	V	A	I	H	T	O	S	Ä	H	K	Ö	T	I

VARAUS, VOLTTI, AKKU, JÄNNITE, KUORMA, OHMI, JOHDE, AMPEERI, VOIMALAITOS, VAIHTOSÄHKÖ, RESISTANSSI, PARISTO, TASASÄHKÖ, VIRTAPIIRI, OIKOSULKU, VIRTA, ERISTE, ELEKTRONI, SÄHKÖLÄHDE, JOHDE

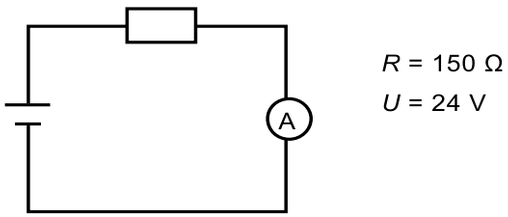
s. 76

1 Tee kytkentä ja mittaa jännite.



Pitäisi näyttää 24 V

2 Tee kytkentä ja mittaa virta.



Pitäisi näyttää 160 mA

s. 77

3 Seuraavissa mittauksissa saatiin tulokseksi $U = 3{,}0$ V ja $I = 200$ mA. Päättele, mitä virta- ja jännitemittarit näyttävät.

Ei mallivastausta

s. 79

1 Ratkaise puuttuva suure ja merkitse se taulukkoon.

U	***R***	***I***
200 V	100 Ω	2 A
600 V	100 Ω	6 A
15 V	15 Ω	1 A
100 V	20 Ω	5 A
30 V	10 Ω	3 A
5 V	5 Ω	1 A
230 V	23 Ω	10 A

2 Ratkaise puuttuva suure ja merkitse se taulukkoon.

U	***R***	***I***
12 kV	200 Ω	60 A
30 V	1,5 k Ω	20 mA
24 mV	12 mΩ	2 A
576 V	3,6 k Ω	160 mA
3 kV	12 M Ω	250 µA
6 V	300 k Ω	20 µA
12 MV	6 k Ω	2000 A

3 Sähkölämmittimen läpi kulkee 3,5 A:n virta, kun jännite on 230 V. Kuinka suuri lämpöelementin resistanssi suunnilleen on? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 850 Ω, b) 68,5 Ω, c)150 mΩ, d)66 Ω

Vastaus: d) 66 Ω

4 11 Ω:n vastuksen läpi kulkee 750 µA:n virta. Mikä on vastuksen jännitehäviö? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 8,25 V b) 82,5 V c) 14,6 V, 146 V

Vastaus: a) 8,25 V

s. 80

5 Minkä kokoinen vastus tarvitaan, kun piirissä vaikuttavat 12 V:n jännite ja 3,6 mA:n virta? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 3,3 Ω b) 3,3 kΩ c) 43,2 kΩ d) 43,2 mΩ

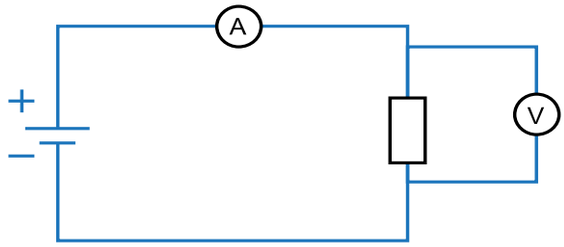
Vastaus: b) 3,3 kΩ

6 Kummasta hanasta tulee enemmän vettä: hanasta, jossa veden virtausta on rajoitettu laittamalla hanaa hieman kiinni, vai hanasta, jossa veden virtausta ei ole rajoitettu mitenkään vaan hana pidetään täysin auki? Selitä myös, kuinka tämä liittyy jännitteeseen, virtaan ja resistanssiin yksinkertaisessa virtapiirissä.

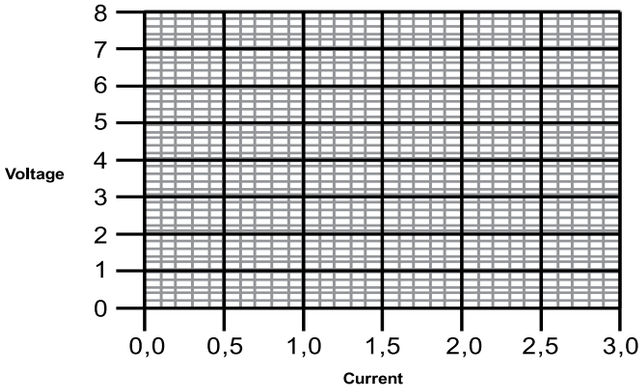
Kun vedentuloa ei ole rajoitettu, hanasta menee läpi suurempi virta. Virtapiirissä taas kun vastuksen resistanssi on pieni, vastuksen läpi menee suurempi virta elektroneja (virta), kun jännite (paine) on vakio.
Huom. Veden virtaus ei vastaa täydellisesti sähköä, mutta se on sähkötekniikan perusopintojen näkökulmasta tarpeeksi lähellä sitä.

7 Oheisesta virtapiiristä on mitattu vastuksen jännitehäviö ja vastuksen läpi menevä virta. Seuraavassa taulukossa ovat mittauksesta saadut arvot:

Virta/A	Jännite/V
0,22	0,66
0,47	1,42
0,85	2,54
1,05	3,16
1,50	4,51
1,80	5,41
2.00	5,99
2,51	7,49



Sijoita arvot alla olevaan kuvaajaan.

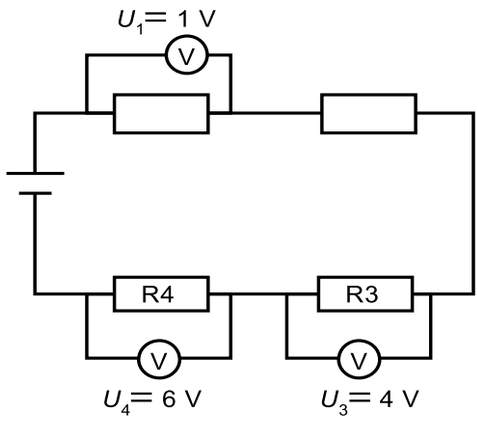


Mikä matemaattinen yhteys kuvaajan perusteella on jännitteen ja virran välillä?

Vastaus: Kuvaajasta (myös numeerisista arvoista) voidaan havaita jännitteen ja virran välisen suhteen pysyvän vakiona.

s. 82

1 Ratkaise U_{R2}.



$U_{R2} = ?$
$U = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} + U_{R4}$
$U = 1\ \text{V} + U_{R2} + 4\ \text{V} + 6\ \text{V}$
$U_{R2} = 14\ \text{V} - (1\ \text{V} + 4\ \text{V} + 6\ \text{V})$
$U_{R2} = 14\ \text{V} - 11\ \text{V}$
$U_{R2} = 3\ \text{V}$

s. 85

1 Sähköporakoneen läpi kulkee 4,8 A:n virta, kun se on kytketty 230 V:n jännitteeseen. Kuinka suuri on porakoneen teho?

1,1 kW

2 Mikroaaltouunissa on merkinnät "800 W / 230 V". Mikä on mikroaaltouunin läpi kulkevan virran suuruus?

3,5 A

3 Virtapiirissä on 10 A:n sulake. Piiriin on kytketty kahvinkeitin (1000 W), astianpesukone (2400 W) ja pölynimuri (700 W). Laske, kestääkö sulake laitteiden yhtäaikaisen käytön.

Ei kestä. Laitteita voi kuitenkin käyttää, kunhan niitä kaikkia ei käytetä samanaikaisesti.

s. 86

1 Laske, kuinka kauan pystyt käyttämään seuraavia laitteita yhdellä kilowattitunnilla:

a) 6 kW:n kiuas

10 minuuttia

b) 500 W:n hiustenkuivain

2 tuntia

c) 400 W:n tietokone

2,5 tuntia

d) 9,5 W:n ledlamppu

105 tuntia 15 minuuttia

e) 1,1 kW:n pölynimuri

55 minuuttia

3 Tasasähkötekniikka

s. 87

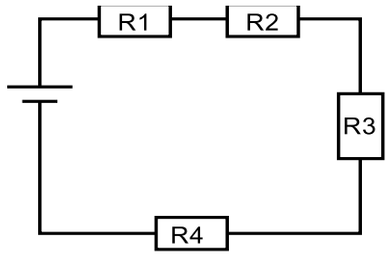
2 Laske kodin sähkölaitteiden sähkön kulutus vuorokauden aikana. Kustannukset ovat keskimäärin 15 snt/kWh.

Sähkölaite	Teho (W)	Käyttöaika	Sähkön kulutus (kWh)	Kustannukset (€)
Jääkaappi	120	4h	0,48	0,072
Liesi	3000	30 min	1,5	1,65
Mikroaaltouuni	1300	5 min	0,108	0,016
Astianpesukone	2200	3 h	6,6	0,99
Pakastin	500	4 h	2,0	0,30
Kahvinkeitin	1100	30 min	0,55	0,083
Vedenkeitin	2400	2 min	0,04	0,006
Pyykinpesukone	2200	4 h	8,8	1,32
Kuivausrumpu	1500	2 h	3,0	0,45
Pölynimuri	1100	1,5 h	1,65	0,25
Televisio 55’’	115	5 h	0,575	0,086
Matkapuhelimen lataus	1	2 h	0,002	0,0003
Pöytätietokone	400	4 h	1,6	0,24
Kattolamppu	57	8 h	0,456	0,068
Jalkalamppu	40	6 h	0,24	0,036
Ledlamppu	9,5	8 h	0,076	0,011
Hiustenkuivaaja	1400	5 min	0,116	0,017
Sähköhammasharja	6	2 min	0,0002	0,00003
Silitysrauta	1400	15 min	0,35	0,05
Yhteensä (kaikki sähkölaitteet)			**28,14**	**5,65**

3 Tasasähkötekniikka

s. 88

1 Laske kytkennän kokonaisresistanssi.



R_1 = 10 Ω

R_2 = 100 Ω

R_3 = 1 kΩ

R_4 = 7 kΩ

0,010 kΩ + 0,100 kΩ + 1 kΩ + 7 kΩ = 8,11 kΩ = 8110 Ω

2 Ympyröi oikea vaihtoehto.

1. Kytketään sarjaan kuusi 150 ohmin vastusta. Kuinka suuri on kokonaisvastuksen arvo? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 90 Ω b) 900 Ω c) 25 Ω d) 150 Ω

Vastaus: b) 900 Ω

2. Joulukuusen sähkökynttelikköstä otetaan irti yksi lamppu, jolloin kaikki lamput sammuvat. Mikä kytkentä on kyseessä? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) rinnankytkentä b) takaisinkytkentä c) sarjakytkentä d) ristikytkentä

Vastaus: c) sarjakytkentä

s. 89

3 Virtapiirissä jännite on vakio. Jos vastusta pienennetään puolella alkuperäisestä, miten virta muuttuu?

Virta kasvaa kaksinkertaiseksi

4 Virtapiirin vastusarvoa kasvatetaan kaksinkertaiseksi ja jännite pidetään samana. Miten virta muuttuu?

Virta pienenee puolella

5 Neljä ledvalaisinta kytketään 18 V:n pariston kanssa sarjaan. Lamppujen tehot ovat 4 W, 9 W, 3 W ja 5 W. Kuinka suuri on piirin läpi kulkeva virta?

Vastaus: 1,17 A

6 Ympyröi oikea vaihtoehto.

1. Yksittäisen sarjaankytketyn vastuksen jännitehäviö on

a) pienempi kuin piirin syöttöjännite

b) sama kuin piirin syöttöjännite

c) suurempi kuin piirin syöttöjännite.

Vastaus: a) pienempi kuin piirin syöttöjännite

2. Jos piirissä on kaksi samanarvoista vastusta sarjaankytkettynä, jännitehäviöt ovat

a) erisuuruiset

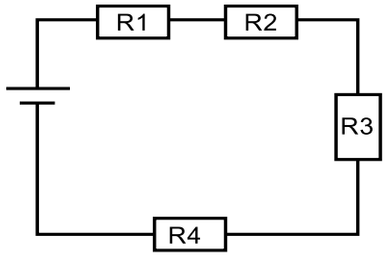
b) samansuuruiset

c) molemmat samansuuruisia kuin piirin syöttöjännite

d) molemmat puolet piirin syöttöjännitteestä.

Ympyröidään kohta b) samansuuruiset

Piirrä neljän vastuksen sarjakytkentä, jossa vastukset ovat suuruudeltaan R1 = 50 Ω, R2 = 200 Ω, R3 = 300 Ω ja R4 = 150 Ω. Vastuksen R1 jännitehäviö on 10 V. Laske piirin virta sekä päättele muiden vastusten jännitehäviöt. Laske piirin syöttöjännite. Laske, millä tehoilla vastukset lämpenevät.



R_1 = 50 Ω

R_2 = 200 Ω

R_3 = 300 Ω

R_4 = 150 Ω

$U_2 = 200\ \Omega \cdot 0{,}2\ \text{A} = 40\ \text{V}$

$U_3 = 300\ \Omega \cdot 0{,}2\ \text{A} = 60\ \text{V}$

$U_4 = 150\ \Omega \cdot 0{,}2\ \text{A} = 30\ \text{V}$

$P_1 = 10\ \text{V} \cdot 0{,}2\ \text{A} = 2\ \text{W}$

$P_2 = 40\ \text{V} \cdot 0{,}2\ \text{A} = 8\ \text{W}$

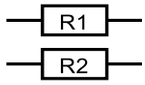
$P_3 = 60\ \text{V} \cdot 0{,}2\ \text{A} = 12\ \text{W}$

$P_4 = 30\ \text{V} \cdot 0{,}2\ \text{A} = 6\ \text{W}$

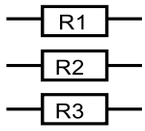
s. 90

1 Piirrä vastukset siten, että ne ovat rinnan keskenään.

a)

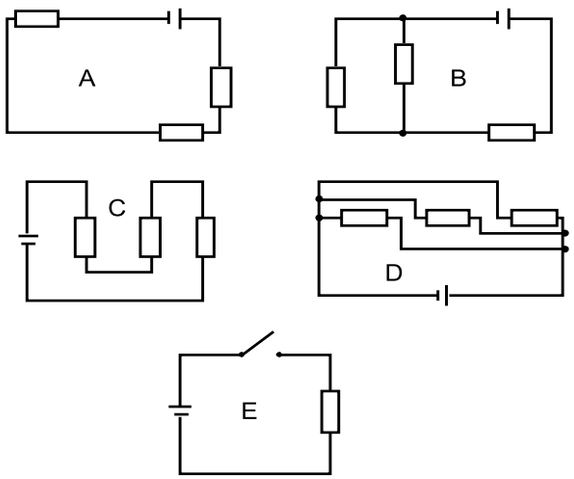


b)



s. 91

2 Mitkä alla olevista kytkennöistä on kytketty rinnan?



Vastaus: B ja D

3 Rinnankytkettyjen vastusten kokonaisresistanssi laskemiseen on olemassa kaksi kaavaa. toinen niistä pätee vain tilanteessa, jossa vastuksia on kaksi kappaletta. Toinen taas pätee kaikissa rinnankytkennän tilanteissa. Mitkä nämä kaavat ovat? Laske molemmilla kaavoilla laskut seuraavilla arvoilla:

1. R1 = 100 Ω ja R2 = 1 kΩ
2. R1 = 180 Ω ja R2 = 470 Ω

Kun vastuksia on kaksi:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Kaikki tilanteet:

$$R = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots \frac{1}{R_n} \right)^{-1}$$

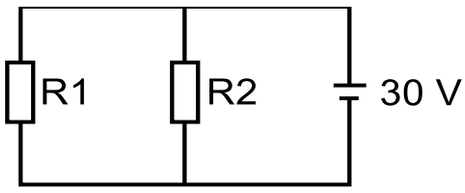
1. $$R = \frac{100\,\Omega \cdot 1\,\mathrm{k}\Omega}{100\,\Omega + 1\,\mathrm{k}\Omega} = 91\,\Omega$$

$$R = \left(\frac{1}{100\,\Omega} + \frac{1}{1\,\mathrm{k}\Omega} \right)^{-1} = 91\,\Omega$$

2. $$R = \frac{180\,\Omega \cdot 470\,\Omega}{180\,\Omega + 470\,\Omega} = 130\,\Omega$$

$$R = \left(\frac{1}{180\,\Omega} + \frac{1}{470\,\Omega} \right)^{-1} = 130\,\Omega$$

4 Laske kuvan kytkennän arvot taulukkoon.



R_1 = 15 kΩ

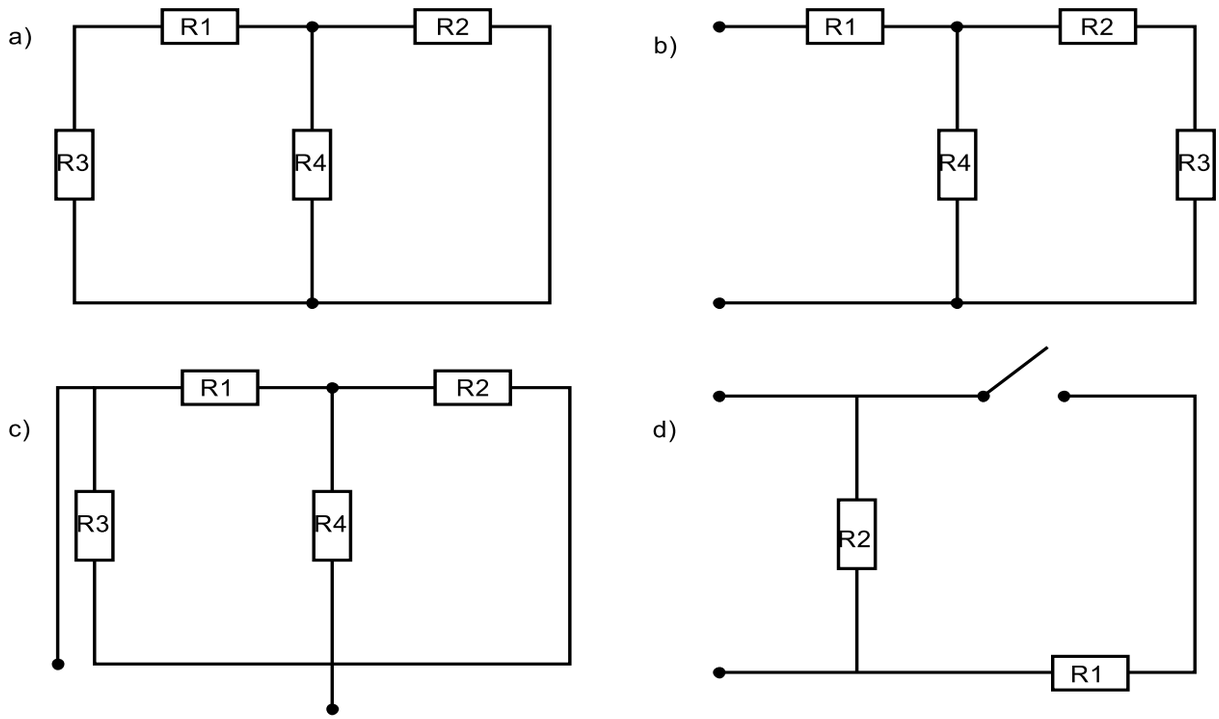
R_2 = 4,7 kΩ

	R_1	R_2	Total
U	30 V	30 V	30 V
I	2 mA	6,4 mA	8,4 mA
R	15 kΩ	4,7 kΩ	3579 Ω
P	0,006 W	0,192 W	0,252 W

3 Tasasähkötekniikka

s. 92

1 Mitkä vastuksista ovat sarjassa keskenään ja mitkä rinnan keskenään?

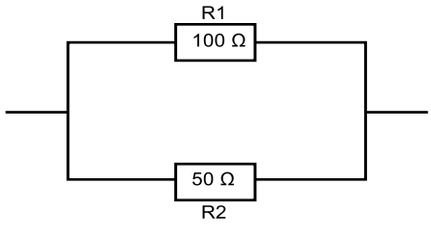


a) R2 ja R4 ovat rinnan keskenään. Näiden kanssa on sarjassa R3 ja R1
b) R2 ja R3 ovat sarjassa keskenään. Näiden kanssa on rinnan R4 ja R1
c) VASTAUS PUUTTUU VIELÄ
d) R1 ja kytkin ovat sarjassa keskenään ja näiden kanssa rinnan on R2

s. 93

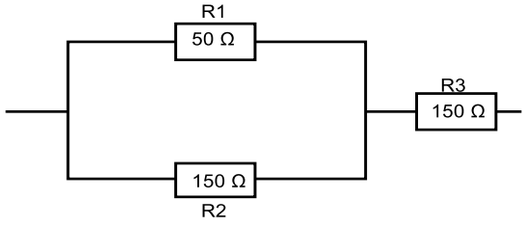
2 Laske vastuskytkennän kokonaisresistanssi.

a)



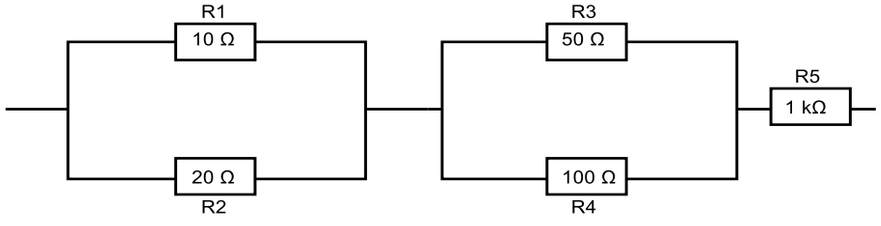
a) 33 Ω

b)



b)187 Ω

c)



c) 1040 Ω

s. 94

3 Laske puuttuvat arvot.

Ei mallivastausta. Kirjan kuvassa on virhe.

s. 96

1 Alumiinijohtimen pituus on 4,0 m ja poikkipinta-ala 3 mm^2. Mikä on johtimen resistanssi? Alumiinin resistiivisyys on $0{,}029\frac{\Omega mm^2}{2}$.

$$R_L = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0{,}028\ \Omega mm^2 \cdot 4{,}0\ m}{m \cdot 3\ mm^2} = 0{,}0373\ \Omega$$

2 Kuinka paljon johtimen resistanssi muuttuu, jos johtimen

a) pituus kaksinkertaistuu	Resistanssi kaksinkertaistuu.
b) poikkipinta-ala muuttuu kaksinkertaiseksi	Resistanssi pienenee puoleen.
c) pituus pienenee puoleen	Resistanssi pienenee puoleen.
d) poikkipinta-ala pienenee puoleen?	Resistanssi kasvaa kaksinkertaiseksi.

s. 97

3 Sähköliedessä on 5 m pitkä syöttöjohto. Kuinka suuri jännite vaikuttaa lieden levyyn, kun virta on 16,0 A ja jännite on 230 V. Johdin on 2,5 mm^2:n kuparia. Lieden syöttöjohtoon kuuluu kaksi johdinta.

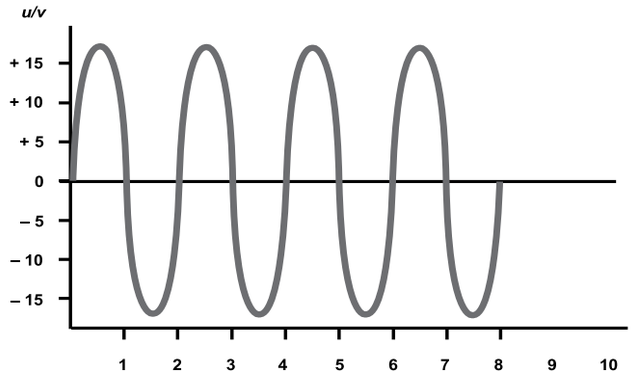
Vastaus: VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

s. 105

1 Laske puuttuvat taajuudet ja jakson ajat.

Taajuus *f*	**Jakson aika *T***	**Laskut**
20 Hz	50 ms	$\frac{1}{20\ \text{Hz}} = 0,005\ \text{s} \rightarrow 50\ \text{ms}$
50 Hz	20 ms	$\frac{1}{0,02\ \text{s}} = 50\ \text{Hz}$
333 Hz	3 ms	$\frac{1}{0,003\ \text{s}} = 333\ \text{Hz}$
3 kHz	300 µs	$\frac{1}{3000\ \text{Hz}} = 0,0003\ \text{s} \rightarrow 0,3\ \text{ms} \rightarrow 300\ \mu\text{s}$
83 kHz	12 µs	$\frac{1}{0,000012\text{s}} = 83\,333\ \text{Hz} = 83\ \text{kHz}$
67 mHz	15 s	$\frac{1}{15\ \text{s}} = 0,0666\ \text{Hz} \rightarrow 67\ \text{mHz}$
5000 Hz	200µs	$\frac{1}{5\,000\ \text{Hz}} = 0,0002\ \text{s} = 200\ \mu\text{s}$
5 Hz	200 ms	$\frac{1}{0,2\ \text{s}} = 5\ \text{Hz}$
40 kHz	25 µs	$\frac{1}{40000\ \text{Hz}} = 0,000025\ \text{s} \rightarrow 25\ \mu\text{s}$
2 kHz	500 µs	$\frac{1}{0,0005\ \text{s}} = 2000\ \text{Hz}$

2 Lue kuvassa olevalta käyrältä kysytyt arvot.



a) huippuarvo: 15 V

b) huipusta huippuun -arvo: 30 V

c) jakson aika: 2 ms

d) taajuus: 500 V

e) tehollisarvo: 10,6 V

3 Olet mittaamassa vaihtosähköpiiriä. Mittari näyttää lukemaa 29 V. Mikä on jännitteen tehollisarvo ja huippuarvo?

Jännitteen tehollisarvo on 29 V. TRMS-mittarit näyttävät tehollisarvon mitattaessa. Muulla mittarilla mitattu tulos vaihtelee. Huippuarvo: 41 V.

4 Teet ruokaa lieden levyllä, jonka teho on 1500 W. Liesi on kytketty 230 V:n jännitteeseen. Mikä on piirin läpi kulkevan virran tehollisarvo?

Annetut arvot ovat tehollisarvoja, joten $I = \frac{1\,500\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 6{,}5\ \text{A}$.

s. 107

1 Selvitä, minkälaisia pihtivirtamittareita on saatavilla.

Ei mallivastausta

2 Voiko yhdellä mittarilla mitata sekä tasavirtaa että vaihtovirtaa?

Mittareissa on virran ja jännitteen mittauksen lisäksi vastusmittaus ja jatkuvuusmittaus. On olemassa pihtivirtamittareita, jotka mittaavat sekä AC/DC-virtaa että jännitettä tietyllä alueella. On kuitenkin myös sellaisia mittareita, jotka mittaavat vain DC-virtaa mutta AC/DC-jännitettä. Ole siis tarkkana mittaria valitessasi.

s. 114

1 1000 W:n lämpöpatteri on kytketty 230 V:n jännitteeseen. Laske lämpöpatterin vaihtovirtavastus.

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(230^2)\ \text{V}}{1\,000\ \text{W}} = 52{,}9\ \Omega = 53\ \Omega$$

2 Mikä on sähkölaitteen teho, kun se on kytketty 230 V:n jännitteeseen ja vaihtovirtavastus on 100 Ω?

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(230^2)\ \text{V}}{1\,00\ \Omega} = 529\ \Omega$$

s. 117

1 Laske 20 µF:n kondensaattorin kapasitiivinen reaktanssi piirissä, jossa taajuus on

60 Hz

$$X_\text{C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 60\ \text{Hz} \cdot 20\ \mu\text{F}} = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 0{,}00002} = 132{,}80\ \Omega = 133\ \Omega$$

2 kHz

$$X_\text{C} = 3{,}98\ \Omega = 4\ \Omega$$

500 Hz

$$X_\text{C} = 15{,}9\ \Omega = 16\ \Omega$$

2 Erään kondensaattorin kapasitiivinen reaktanssi on 80 Ω piirissä, jonka taajuus on 40 Hz. Laske kondensaattorin kapasitanssi.

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 40 \cdot 80} = 49,75\ \mu F$$

3 Erään piirin kondensaattorin kapasitanssi on 15 µF. Piirin syöttöjännite on 200 V ja taajuus 100 Hz. Laske piirin virta.

Ensin lasketaan kondensaattorin reaktanssi:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 100\ \text{Hz} \cdot 15\ \mu F} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 0,000015} = 106\ \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{200\ \text{V}}{106\ \Omega} = 1,9\ \text{A}$$

Erään piirin kondensaattorilla on 400 Ω:n reaktanssi, kun piirin jännite on 100 V ja taajuus 50 Hz. Laske kondensaattorin kapasitanssi ja piirin virta.

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 400 \cdot 50} = 7,96 \cdot 10^{-6}\ \text{F}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{100\ \text{V}}{400\ \Omega} = 0,25\ \text{A}$$

s. 119

1 Laske kelan reaktanssi, kun kelan induktanssi on 0,2 H ja piirin taajuus on

a) 50 Hz

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(0,2) = 62,83\ \Omega = 63\ \Omega$$

b) 600 Hz

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(600)(0,2) = 754\ \Omega$$

c) 40 kHz

50 kΩ

2 Kelan reaktanssi on 120 Ω ja piirin taajuus on 4 KHz. Laske kelan induktanssi.

$X_L = 2\pi fL$

joten

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{120}{2\pi(4 \cdot 10^3)} = 4,77 \text{ mH}$$

3 Piirissä vaikuttavat 230 V:n vaihtojännite ja 50 Hz:n taajuus, ja piirin mitattu virta on 1,2 A. Laske kelan induktanssi.

$$X_L = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{1,2 \text{ A}} = 191,67 \ \Omega = 192 \ \Omega$$

Koska $X_L = 2\pi fL,$ siis $L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{192 \ \Omega}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 0,611 \text{ H}$

4 Piirissä vaikuttaa 200 V:n vaihtojännite, jonka taajuus on 2 kHz, ja kela, jonka induktanssi on 50 mH. Laske kelan a) reaktanssi ja b) virta.

reaktanssi: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot 10^3) \text{ Hz} \cdot 0,05 \text{ H} = 628 \ \Omega$

virta: $I = \frac{U}{X_L} = 0,318 \text{ A} = 318 \text{ mA}$

s. 121

1 Kuinka suuri on vaihtosähköpiirin loisteho, jos näennäisteho on 30 kVA ja pätöteho 300 kW?

Arvot ovat menneet väärin päin: pitäisi olla näennäisteho 300 kVA ja pätöteho 30 kW.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{300^2 - 30^2} = 298\ \text{kVAr}$$

s. 123

1 Jääkaappi oli kytketty sähköverkkoon (230 V) ja otti 140 W:n pätötehon, kun kompressori oli käynnissä. Jännitemittari näytti tuolloin 225 V ja virtamittari 0,69 A. Kuinka suuria olivat

a) näennäisteho VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

b) loisteho VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

c) jääkaapin impedanssi Z VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

d) vaihesiirtokulma φ? VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

2 Sähkölaite ottaa verkosta (230 V/50 V) 1,7 A:n virran ja 390 W:n tehon. Laske laitteen tehokerroin.

$$S = U \cdot I = 230\,\text{V} \cdot 1,7\,\text{A} = 391\,\text{VA}$$

$$\text{tehokerroin } \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{390}{391} = 0,097$$

3 Sähkömoottorissa on merkinnät $U = 230$ V, $I = 1{,}2$ A ja $\cos\varphi = 0{,}85$. Laske S, P, Q, U_R, U_L, Z, R, X_L ja φ.

Tällaisessa tehtävässä osoitinpiirros auttaa paljon. Jännitekolmio sopii tähän hyvin, koska tiedetään jännite U. Kolmion kateetit U_R ja U_L saadaan tästä laskettua.

$U_R = U \cdot \cos\varphi = 230\,\text{V} \cdot 0{,}85 = 196\,\text{V}$

Koska $\cos\varphi = 0{,}85$, saadaan $\varphi = 32°$. Tästä saadaan $\sin 32° = 0{,}5$.

Tästä lasketaan $U_L = U \cdot \sin\varphi = 230\,\text{V} \cdot 0{,}5 = 115\,\text{V}$.

Tästä voidaan piirtää jännitekolmio sopivaan mittakaavaan.

Lasketaan tehot:

$S = U \cdot I = 230\,\text{V} \cdot 1{,}2\,\text{A} = 276\,\text{VA}$

$P = U_R \cdot I = 196\,\text{V} \cdot 1{,}2\,\text{A} = 235\,\text{W}$

$Q = U_L \cdot I = 115\,\text{V} \cdot 1{,}2\,\text{A} = 138\,\text{VAr}$

$Z = \frac{U}{I} = \frac{230\,\text{V}}{1{,}2\,\text{A}} = 192\,\Omega$, $R = \frac{U_R}{I} = 163\,\Omega$, $X_L = \frac{U_L}{I} = 96\,\Omega$

Vastaukset:

$S = 276$ VA, $P = 235$ W, $Q = 138$ VAr, $U_R = 196$ V, $U_L = 115$ V, $Z = 192\,\Omega$, $R = 163\,\Omega$, $X_L = 96\,\Omega$, $\varphi = 32°$

s. 125

1 Vaihtosähköpiirissä on kytketty sarjaan vastus ja kondensaattori. Vastuksen resistanssi $R = 470\ \Omega$ ja kondensaattorin reaktanssi $X_C = 820\,\Omega$.

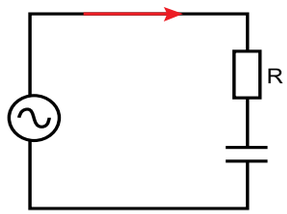
a) Kuinka suuri on kytkennän impedanssi?

$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2} = \sqrt{470^2 + 820^2} = 945\,\Omega$

b) Kuinka suuri on kytkennän vaihesiirtokulma?

$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{470\,\Omega}{945\,\Omega} = 0{,}497$

2 Kuvan kytkennän kokonaisjännite $U = 230$ V ja vaihesiirtokulma on 43°.



a) Kuinka suuri on jännite U_R?

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} \rightarrow U_R = \cos\varphi U = \cos 43° \cdot 230\ \text{V} = 168\ \text{V}$$

b) Kuinka suuri on jännite U_C?

$$U = \sqrt{{U_R}^2 + {U_C}^2} \rightarrow U_C = \sqrt{U^2 - {U_R}^2} = \sqrt{230\ \text{V}^2 - 168\ \text{V}^2} = 157\ \text{V}$$

s. 126

3 Kondensaattorin kapasitanssi on 82 µF ja vastuksen resistanssi 150 Ω. Kytkentään vaikuttaa 230 V:n jännite, jonka taajuus on 50 Hz. Laske X_C, Z, I, U_R, U_C ja φ ja piirrä osoitinkuva.

VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

s. 127

1 1,3 kΩ:n vastus on kytketty sarjaan 15 mH:n kelan kanssa. Piirin taajuus on 10 kHz. Mikä on piirin impedanssi? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) 942 Ω b) 1,6 kΩ c) 160 Ω d) 1300 Ω

Vastaus: b) 1,6 kΩ

2 Kun RL-sarjapiirin taajuus pienenee, mitä piirin impedanssille tapahtuu? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) Impedanssi pienenee. b) Impedanssi suurenee.

c) Impedanssi pysyy vakiona. d) Impedanssia ei voi määritellä ilman arvoja.

Vastaus: a) Impedanssi pienenee.

3 Kun RL-sarjapiirin vastukseen vaikuttava jännite on pienempi kuin kelaan vaikuttava jännite, mitä vaihesiirtokulmalle tapahtuu? Ympyröi oikea vaihtoehto.

a) vaihesiirtokulma pienenee.
b) Vaihesiirtokulma suurenee.
c) Vaihesiirtokulma ei muutu.
d) Asiaa ei voi määritellä.

Vastaus: b) Vaihesiirtokulma suurenee.

6 Elektroniikka

s. 166

1 Miksi levyn huuhteleminen on erittäin tärkeätä valmistuksen eri vaiheiden välillä?

Kehityksessä käytettävä natriumhydroksidiliuos on emäs, ja syövytyksessä käytettävä natriumpersulfaattiliuos on happo. Jos kehitettä sisältävä levy laitetaan happoon, happo neutraloituu nopeasti eikä syövytä enää hyvin.

2 Minkä takia levy on hyvä suojalakata?

Itse tehdyssä piirilevyssä kuparifoliot voivat hapettua varsinkin kosteissa käyttöolosuhteissa nopeasti. Hapettuminen voi vaikuttaa laitteen toimintaan. Suojalakka estää hapettumisen.

s. 171

1 Miksi vastukset pitää asentaa merkintöjen kannalta samaan suuntaan?

Omatekoisista laitteista joutuu hakemaan aika usein vikaa, kun ne eivät heti toimikaan odotusten mukaan. Komponenttien oikeiden arvojen tarkastus sujuu tällöin nopeammin. Lisäksi kyseessä on myös ulkonäkökysymys.

2 Laitteen piirikaaviossa on yksi vieras komponentti. Mikä? Etsi komponentin datalehti ja selvitä, mikä se on ja miksi sitä tarvitaan.

Jänniteregulaattoripiiri 7805

s. 217–219

1 Selvitä PIC18F2455:n datalehdestä, mikä on suurin ja pienin käyttöjännite, jolla mikrokontrolleri toimii.

DC-ominaisuuksista löytyy tieto, että käyttöjännite saa olla 2–5,5 V. Piiri kestää jopa 7,5 V:n jännitteen, mutta se on absoluuttinen maksimiarvo eikä piiri kestä sitä pitkään.

2 Selvitä PIC18F2455:n datalehdestä, mikä on suurin kideoskillaattorin taajuus, jota voi käyttää mikrokontrollerin kanssa.

Ulkoisen kellon ajoitusvaatimuksista löytyy tieto, että suurin ulkoisen kellon taajuus on 48 MHz.

3 I/O-pinnien käyttöä rajoittaa niiden virranajokyky. Selvitä PIC18F2455:n datalehdestä seuraavat asiat:

– Kuinka suuren virran pystyt saamaan yksittäisestä I/O-pinnistä?

Maksimiarvoista löytyy tieto, että mikä tahansa yksittäinen pinni pystyy ajamaan suurimmillaan 25 mA:n virran.

– Mikä on suurin virta, jonka pystyt saamaan mikrokontrollerin kaikista porteista yhteensä?

Maksimiarvoista löytyy tieto, että kaikista pinneistä pystyy yhteensä ajamaan maksimissaan 200 mA:n virran. Tässä mielenkiintoinen huomio on, ettei kaikista pinneistä voi ottaa niiden maksimivirtaa yhtaikaa.

4 PIC18F2455:ssä on konfigurointibittejä, joista kannattaa olla tietoinen. Selvitä, mitä seuraavat konfigurointibitit tekevät:

– CCP2MX

Mikrokontrollerissa on CCP-moduuli jolla pystyy generoimaan esimerkiksi PWM-signaalia. Näitä moduuleja on kaksi kappaletta: CCP1 ja CCP2. Tällä konfigurointibitillä määritetään, mihin pinnin moduulin CCP2 generoima PWM-signaali ohjataan. Ohjaus RC1:een, kun CCP2MX = 1, ja RB3:een, kun CCP2MX = 0. On huomioitava, kun käyttää CCP2-modulia.

– PBADEN.

B-portti voi toimia analogisesti ja digitaalisesti. Tällä konfigurointibitillä mahdollistetaan A/D-muunnosten ottaminen portin B-pinneistä. Tämä voi olla ongelmana, jos B-portti ei tunnu toimivan digitaalisena tulona.

5 Laske arvo ledin etuvastukselle, kun $V_f = 2$ v ja $I_f = 20$ mA ja jännite, jolla lediä halutaan käyttää, on

a) 12 V $R = (12\ \text{V} - 2\ \text{V}) / 20\ \text{mA} = 500\ \Omega$

b) 9 V $R = (9\ \text{V} - 2\ \text{V}) / 20\ \text{mA} = 350\ \Omega$

c) 3,3 V. $R = (3{,}3\ \text{V} - 2\ \text{V}) / 20\ \text{mA} = 65\ \Omega$

6 Muunna

a) binääriluku 10010111 kymmenkantajärjestelmään

2^7+2^4+2^2+2^1+2^0=151

b) binääriluku 01110101 heksadesimaalijärjestelmään

Jaetaan binääriluku kahteen osaan, jolloin saadaan 0b0111=0x7 ja 0b0101=0x5, joista yhdistelemällä saadaan heksadesimaaliluku 0x75.

c) heksadesimaaliluku A7 binääriluvuksi

Vastaavasti kuin edellinen mutta päinvastoin. 0xA=0b1010 ja 0x7=0b0111, eli binääriluvuksi tulee 0b10100111.

d) heksadesimaaliluku 5C kymmenkantajärjestelmään.

5*16^1+12*16^0=92. Vastauksen saa myös muuttamalla heksadesimaaliluvun ensin binääriksi ja siitä desimaaliluvuksi.

7 Kun ohjelmoinnissa halutaan tietyt bitit ykkösiksi tai nolliksi vaikuttamatta luvun muihin bitteihin, käytetään maskeja. Maskia käytetään siten, että luvun ja maskin vastaaville biteille tehdään sama looginen operaatio, minkä tuloksena saadaan luku, jossa haluttu muutos on tehty. Seuraavassa on kaksi maskin käyttötilannetta. Selvitä, mitä maskilla on tehty ja mitä loogista operaatiota on käytetty.

a)

Binääriluku	1	0	0	1	1	0	1	0
Maski	0	1	0	0	0	0	0	1
Tulos	1	1	0	1	1	0	1	1

Tässä OR-operaatiolla pakotetaan tietyt bitit ykkösiksi.

b)

Binääriluku	1	0	0	1	1	0	1	0
Maski	1	1	1	0	1	1	0	1
Tulos	1	0	0	0	1	0	0	0

Tässä AND-operaatiolla pakotetaan tietyt bitit nolliksi.

8 Talossa kaikkea ohjataan ohjelmoitavien logiikkojen avulla. Olohuoneen valaistusta varten logiikkaan tulee ohjaukset kahdelta kytkimeltä ja lähtee ohjaus olohuoneen lampulle. Millainen looginen operaatio ohjelmoitavaan logiikkaan on ohjelmoitava, jotta olohuoneen valaistus toimisi tavanmukaisen kruunukytkennän tavoin? Kruunukytkentä toimii siten, että lamppu palaa, jos jompikumpi kytkimistä on kytkettynä, ja ei pala, jos molemmat kytkimet ovat yhtaikaa kytkettyinä tai kytkemättöminä. Piirrä ensin totuustaulu, ja mieti sen perusteella, millaista porttia tarvitset.

Toiminta vastaa XOR-operaatiota.

9 PT100-vastuksen arvo on noin 80 ohmia –50 °C:ssa ja 139 ohmia +100 "C:ssa. Laitetaan PT100-vastus 100 ohmin vastuksen kanssa sarjaan siten, että PT100 on maata vasten ja 100 ohmin vastus on kytketty 5 volttiin. Kuinka suuri jännite vastusten välissä on, kun oletetaan, että vastuksen muutoksen funktio lämpötilan suhteen on lineaarinen ja

a) lämpötila on –50 °C

Tiedetään, että –50 °C $R_{PT100} = 80\ \Omega$ ja nimetään toinen vastus R_s:ksi, joka on 100 Ω, ja käyttöjännite $V_+ = 5$ V. Jännitteen jaon avulla lasketaan jännite vastusten välillä $V_o = R_s/(R_{PT100} + R_s) \cdot V_+ = 2$ V.

b) lämpötila on +100 °C

Vastaavasti kuin edellä laskettuna $V_0 = 3{,}4$ V.

c) lämpötila on 0 °C?

Ensin piirretään kyseinen suora ja etsitään PT100-anturin vastusarvo sen avulla tai muodostetaan matemaattisesti suoran yhtälö ja lasketaan PT100-anturin vastusarvo. Tässä tapauksessa suoran yhtälön muiodostamisen kautta vastukselle saadaan yhtälö $R_{PT100} = 0{,}393 \cdot T + 99{,}66$. Lopulta vastaavasti kuin edellä laskettuna saadaan $V_0 = 2{,}5$ V.

10 Edellisen tehtävän lämmönmittauskytkentää halutaan käyttää mikrokontrollerilla toteutetussa lämpömittarissa. Mikrokontrollerin A/D-muuntimen lukualuetta halutaan käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi hyödyntämällä 5-voltista jännitejaolla muodostettuja referenssijännitteitä muuntimen ylä- ja ala-arvoille (V_{REF+} ja $V_{REF–}$). Mitoita

a) E24-sarjasta vastukset jännitejakoon V_{REF+}:aa varten siten, että jännite on mahdollisimman lähellä mutta kuitenkin yli sen jännitteen, joka on PT100-vastuksen yli, kun lämpötila on +100 °C

Tämän voi ratkaista monella tavalla. Yleinen ratkaisumalli on, että toisen vastuksen arvo päätetään ja sitten toinen lasketaan hyödyntämällä jännitteen jaon laskukaavaa.

Otetaan tässä yksinkertainen ratkaisu siten, että valitaan käyttöjännitettä vasten olevan vastuksen arvoksi 10 kΩ, mikä on sata kertaa edellisen tehtävän R_s. Nyt oikea laskennallinen arvo maata vasten olevalle vastukselle saadaan kertomalla R_{PT100} sadalla, eli saadaan 13,9 kΩ. Nyt E24-sarjan vastusta valittaessa täytyy huomioida, että jaetun jännitteen täytyy olla suurempi kuin laskettu arvo. Voidaan päätellä, että myös vastus arvon täytyy olla suurempi. Näin ollen lähin arvo ylös päin on 15 kΩ.

b) E24-sarjasta vastukset jännitejakoon $V_{REF–}$:sta varten siten, että jännite on mahdollisimman lähellä mutta kuitenkin alle sen jännitteen, joka on PT100-vastuksen yli, kun lämpötila on –50 °C.

Vastaavasti kuin edellä, toiseksi valitaan 10 kΩ. Toisen vastuksen lasketuksi arvoksi saadaan 8 kΩ. Nyt E12-sarjasta valitaan lähin alas päin, joka on 7,5 kΩ.

8 Sähköasennustekniikka

s. 225–227

1 Etsi valmistajien (Reka, Draka) sivuilta tietoa siitä, mitä seuraavat kaapelit ovat ja mihin niitä käytetään:

MMJ

Asennuskaapeli. Käytetään kiinteään asennukseen ulko- ja sisäasennuksissa.

MPLM

Asennuskaapeli. Käytetään kiinteään pinta-asennukseen sisätiloissa, myös yksityis- ja vapaa-ajan asuntojen suihku- ja pesutiloissa. Kaapelissa on vaipan alla 1 mm^2:n maadoituslanka.

TELLU 13

TV-verkon sisäkaapeli. Sopii käytettäväksi uusimpien digitaalisten radio- ja TV-lähetyksien välitykseen sekä internet- ja multimediasovellutuksiin kaapeliverkoissa. Käytetään TV-, yhteisantenni- ja kaapeli-TV-verkon sisäkaapelina.

MMO

Ohjauskaapeli. Käytetään sähkölaitteiden ohjaus-, mittaus- ja merkinantopiirien kaapelina pinta- ja uppoasennukseen sisä- ja ulkotiloissa. Sisältää 7 johdinta.

Firetuf DATA

Palonkestävä tietoverkkokaapeli. Käytetään tietoverkon kaapelointiin sisäasennuksia vastaaviin olosuhteisiin ja lisäksi tilanteisiin, joissa vaaditaan kaapelin toimivuutta tietyn ajan tulipalon aikana.

ML

Yksilankainen johdin. Käytetään kiinteään asennukseen asennusputkessa sekä sisäiseen johdotukseen laitteissa ja keskuksissa.

2 Etsi valmistajien (Reka, Draka) sivuilta tietoa siitä, mitä seuraavat kaapelit ovat, mihin niitä käytetään ja mitä niiden lisäkirjaimet tarkoittavat:

AFUX-LSZH

Halogeeniton kevyt asennuskaapeli. Käytetään kiinteään pinta- ja uppoasennukseen sisällä ja ulkona. Yksilankainen hehkutettu kuparijohdin, eristys PEX-muovia, halogeeniton täytemassa, ulkovaippa halogeenitonta muovia. LSZH = vähän savuava, halogeeniton, itsestään sammuva.

MMJ-HF

Asennuskaapeli. Käytetään kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona. Vaippa halogeenitonta UV-suojattua polyolefiinimuovia, eristys halogeenitonta polyolefiinimuovia, halogeeniton täytevaippa. HF = halogeeniton, itsestään nippuna sammuva.

TELLU-GHF

TV-verkon sisäkaapeli. Vaippa harmaata halogeenitonta muovia, ulkojohdin hitsattua korrugoitua kupariputkea, eristys vaahdotettua PE-muovia, yksilankainen hehkutettu metallijohdin. GHF = itsestään sammuva, halogeeniton, vähän savuava.

MSK-LSZH

Halogeeniton taipuisa liitäntäkaapeli. Käytetään liitäntäkaapelina kotitalouksissa ja toimistoissa tavallisiin käyttöoloihin tarkoitetuissa siirrettävissä laitteissa. Vaippa halogeenitonta valkoista muovia, eristys halogeenitonta muovia, hienolankainen hehkutettu kuparijohdin. LSZH = vähän savuava, halogeeniton, itsestään sammuva.

Halofix 90

Lämmönkestävä kevyt liitäntäkaapeli. Käytetään pienjännitehalogeenivalaisimien liitäntäkaapelina kotitalouksissa ja toimistoissa sekä kaiutinkaapelina äänentoistojärjestelmiissä. U = 50 V (AC), 75 V (DC), eristys lyijytöntä lämmönkestävää PVC-muovia, kaksi johdinta rinnakkain kiinni toisissaan, hienolankainen hehkutettu kuparijohdin.

HHJ Ultralight.

Asennuskaapeli. Käytetään kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona. Eristeet pitää suojata suoralta UV-säteilyltä. Vaippa valkoista halogeenitonta UV-suojattua polyolefiinimuovia, eristyksessä ja täytteenä halogeenitonta polyolefiinimuovia, johdin pyöreä kuparilanka, nipussa paloa levittämätön, halogeeniton, vähäsavuinen.

3 Etsi seuraavien kaapelien merkinnöistä valmistajien sivuilta (Draka, Reka) selitykset merkinnöille

MMJ 3G2,5 300/500 V

MMJ-kaapelissa on 3 johdinta, joista jokaisen halkaisija on 2,5 mm, ja se sisältää kelta-vihreän johtimen. Kaapelin nimellisjännitteet ovat maan ja vaiheen välillä U_0 = 300 V ja kahden vaiheen välinen jännite U = korkeintaan 500 V.

H05RN-F 300/500 V (VSKN)

Kumikaapeli, joka on harmonisoitujen standardien mukainen (H). Kaapelin nimellisjännite on 300/500 V (05). Johtimien eriste on EPR-kumia (R) ja kaapelin ulkovaippa sään- ja öljynkestoista mustaa kumia (N). Johtimet ovat hehkutettua hienolankaista kuparia (F). VSKN on kaapelin kansallinen nimi.

MKEM 90 450/750 V

VASTAUS PUUTTUU VIELÄ

4 Kaapelien tiedoissa (MMJ-LSZH) viitattiin DI-käsikirjan kohtiin 522.11 sekä kuviin 522.2 ja 522.3. Pyydä opettajaltasi DI-käsikirja. etsi mainitut kohdat ja kerro, mitä niissä sanotaan.

522.2 kertoo ulkoiset lämmönlähteet ja sen, miten niiden lämpö voi haitata kaapelia. 522.3 kertoo, miten kosteat ja märät olosuhteet vaikuttavat kaapelin asentamiseen. 522.11 koskee eri asennustapojen ohjeita.

5 Kuinka kylmässä MMJ-kaapelia voidaan asentaa?

$-15\ ^{\circ}C$

6 Mitä tietoja valmistaja ilmoittaa MMJ-kaapelista.

Johdinmateriaalin, johtimen nimellispoikkipinta-alan (mm^2), johtimen halkaisijan (mm), johdinluokan, johtimien määrän, johdineristeen,

johtimen värin, suurimman käyttölämpötilan, ulkovaipan materiaalin, tiedon siitä, onko kaapeli paloa levittämätön, kaapelin ulkohalkaisijan, käyttölämpötilan ja nimellisjännitteen

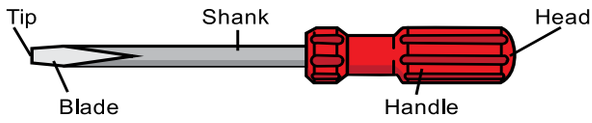
7 Mitä tarkoittavat valmistajan merkinnät "Kaapelin pienin taivutussäde 6 x D" ja "Kaapelin pienin taivutussäde 3 x D"? Laske taivutussäde taipuisalle liitäntäkaapelille MSOY ja asennuskaapelille MMJ 3 x 1,5.

Taipuisan liitäntäkaapelin merkintä 6 x D tarkoittaa, että kaapelia taivutettaessa sen taivutussäde ei saa olla pienempi kuin 6 kertaa kaapelin halkaisija. Valmistaja ilmoittaa MSOY-kaapelin nimelliseksi ulkohalkaisijaksi 5,4 mm, joten taivutussäde on pienimmillään 32,4 mm. MMJ-kaapelin taivutussäde on 3 x D ja ulkohalkaisija 9 mm, joten pienin sallittu taivutussäde tässä tapauksessa on 27 mm. Jos olet epävarma siitä, minkä kokoisia nämä taivutukset ovat, tee säteiltään edellä olevat ympyrät ja kokeile laittaa kaapeli ympyrän reunoja pitkin. Näin saat sallitun taivutuksen koon.

8 Sähköasennustekniikka

s. 235

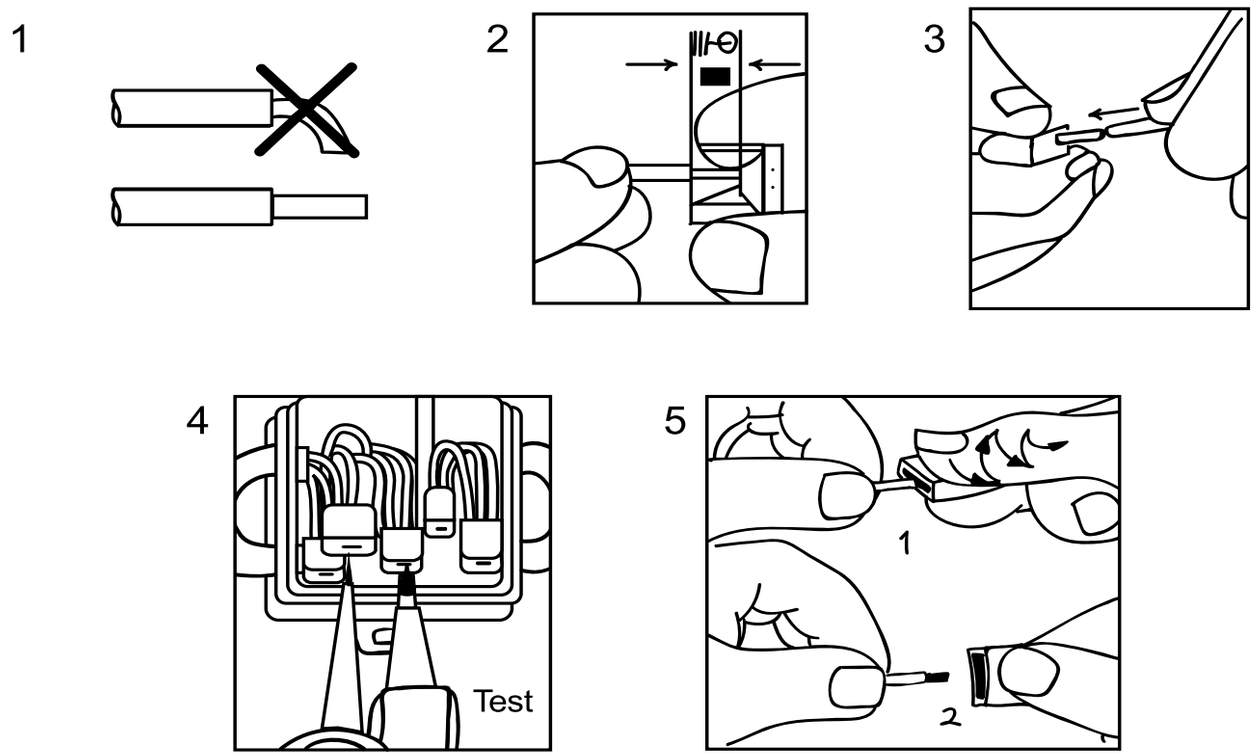
1 Mitkä ovat ruuvitaltan osat suomeksi?



tip = kärki, blade = terä, shank = varsi, handle = kahva, head = pää

s. 240

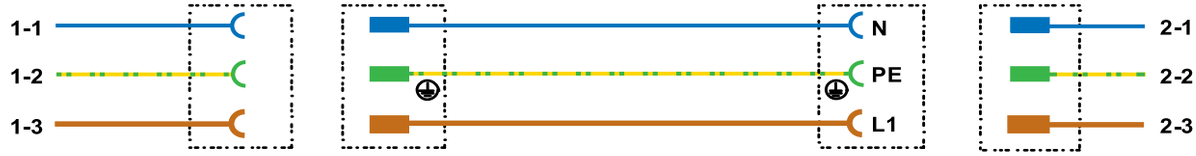
1 Mitä valmistaja haluaa kertoa liittimen käytöstä?



1. Liittimeen laitetaan johdin suorana, ei taivutettuna.
2. Liittimessä on kerrottu, kuinka paljon johdinta kuoritaan.
3. Johdin työnnetään liittimeen kohtisuoraan.
4. Liittimessä on mittausaukot, joiden kautta voidaan tehdä mittaukset.
5. Johdin saadaan poistetuksi liittimestä niin, että johdinta kierretään ja vedetään samanaikaisesti.

s. 245–246

1 Suojamaadoitettu jatkojohto

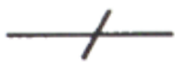
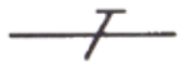


a) Valmista 300 mm:n suojamaadoitettu jatkojohto. Muista jättää kelta-vihreä johdin reilusti pidemmäksi kuin sininen ja ruskea johdin. Kaapelin vaippa tulee vedonpoistajan alle niin, että vaipasta näkyy noin 1 mm.

b) Mikä on vaiheen, nollan ja suojamaan lyhenne, ja minkä värisiä johtimia niissä käytetään?

Vaihe: L, ruskea, musta tai harmaa johdin.
Nolla: N, sininen johdin.
Suojamaa: PE, kelta-vihreä johdin

c) Mitkä ovat näiden kaapeleiden piirrosmerkit?

Vastaus: Vaihe:  Nolla: Suojamaa: 

d) Kun olet saanut jatkojohdon valmiiksi, suorita tarkastusmittaukset yleismittarin resistanssimittauksella. Kun mittaus osoittaa, etteivät mittauspisteet ole yhteydessä toisiinsa, käytä merkkiä ∞ (ääretön).

Muista käyttää resistanssin yksikköä Ω (ohmi), kun kirjoitat mittaustuloksen.

Mittaa seuraavat välit:

Mittausväli	Resistanssi
1–1 ja 2–1	Ei mallivastausta
1–1 ja 2–2	Ei mallivastausta
1–1 ja 2–3	Ei mallivastausta
1–1 ja 1–2	Ei mallivastausta
1–1 ja 1–3	Ei mallivastausta
1–2 ja 2–1	Ei mallivastausta
1–2 ja 2–2	Ei mallivastausta
1–2 ja 2–3	Ei mallivastausta
1–2 ja 1–3	Ei mallivastausta
1–3 ja 2–1	Ei mallivastausta
1–3 ja 2–2	Ei mallivastausta
1–3 ja 2–3	Ei mallivastausta
2–1 ja 2–2	Ei mallivastausta

Pyydä opettajaa tarkistamaan saamasi tulokset!

e) Mikä oli edellisen mittauksen tarkoitus?

Tarkistaa, että johtimet oli kytketty oikein ja että kaikki johdot olivat kunnollisesti kiinni

f) Miksi monisäikeisen johtimen päihin on hyvä laittaa holkki ruuviliitoksessa?

Koska yksikään säie ei saa jäädä liitoksen ulkopuolelle. Tämä voidaan varmistaa holkin avulla.

g) Mikä on vedonpoistajan tehtävä jatkopistorasiassa ja jatkopistotulpassa?

Pitää kaapeli paikoillaan, etteivät johtimet irtoa liitoksistaan

h) Mikä on tekemäsi suojamaadoitetun jatkojohdon suojausluokka?

Ei mallivastusta. Asia riippuu siitä, mitä pistoketta ja pistorasiaa on käytetty.

i) Piirrä suojamaadoituksen piirrosmerkki.

Vastaus:

j) Minkälaiseen pistorasiaan voi liittää tekemäsi jatkojohdon?

Ei mallivastausta. Suojamaadoitettu jatkojohto voidaan laittaa suojamaadoitettuun pistorasiaan. Ulkopistorasiaan tarvitaan aina läpällinen jatkojohto.

k) Miten suojamaadoitettu pistorasia voidaan tunnistaa?

Suojamaadoitetun pistorasian tunnistaa rasiassa olevasta suojamaadoitusliuskasta, joka on metallia.

l) Mitä sääntöjä on muistettava jatkojohdon käytöstä?

Älä käytä rikkinäistä jatkojohtoa. Tarkista jatkojohdot säännöllisin välein. Käytä ulkotiloissa aina läpällistä jatkojohtoa. Jatkojohdot tulee kerätä käyttöpaikalta pois, kun niitä ei tarvita. Älä vedä johdosta, kun irrotat jatkojohtoa laitteesta.

m) Kerro, miten suojamaadoitus toimii.

Jos suojamaadoitettuun pistorasiaan kytkettyyn laitteeseen tulee vika, jossa laitteen kuori tulee jännitteiseksi, vikavirta kulkee suojajohtimen kautta, sulake palaa ja viallinen laite kytkeytyy sähköverkosta irti. Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi silloin, jos eristys menee rikki.

n) Mitä sähkötöitä maallikko voi tehdä?

– yksivaiheisen jatkojohdon korjaus ja teko

– sähkölaitteen rikkoontuneen yksivaiheisen liitäntäjohdon ja pistotulpan vaihto

– valaisimen liitäntäjohdon välikytkimen vaihto

– sisustusvalaisimen liittäminen valaisinliittimellä eli "sokeripalalla"

– sisustusvalaisimen lampunpitimen vaihto

– valaisinliittimen eli "sokeripalan" korvaaminen uuden järjestelmän mukaisella valaisinliitinpistorasialla ja valaisinliitinpistorasian vaihto

– valaisinpistotulpan asennus ja tulpan vaihto

– jännitteettömien pistorasioiden kansien ja rasiakytkimien kansien irrottaminen esim. maalaamisen ja tapetoinnin ajaksi ja kansien vaihto

– suojajännitteisten laitteistojen (esim. aurinkopaneeli-, lämmitys- tai valaisinjärjestelmät) asentaminen valmistajan tai tavarantoimittajan antamien ohjeiden mukaisesti

– harrastustoimintana tehtävä sähkölaitteiden kokoonpano esimerkiksi elektroniikan rakennussarjasta ja tällaisen laitteen korjaaminen

s. 249

1 Kerro, mitä seuraavat kotelointiluokitukset tarkoittavat?

a) IP23

Suojaa vieraiden esineiden ja pölyn sisään pääsyltä, kun halkaisija on ≥ 12,5mm. Vaarallisia osia ei pääse koskemaan sormella. Suojaa laitetta satavalta vedeltä.

b) IP 65

Suojaa vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsyltä

c) IP44

Suojaa erittäin pieniä kappaleita (halkaisija yli 1 mm) vastaan. Suojaa vesiroiskeita vastaan.

d) IP21

Suojaa keskikokoisia kappaleita (halkaisija yli 12,5 mm, kuten sormi) vastaan. Ei suojaa vettä vastaan.

e) IPX1

Suojaa pystysuoraan tippuvalta vedeltä

f) IP2X

Suojaa tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus 15°)

8 Sähköasennustekniikka

s. 253–255

1 Kytkentä on virheellinen. Piirrä korjattu kytkentä viereen ja vastaa kysymyksiin.

TÄHÄN KUVAT TAITOSTA

VASTAUSKUVA PUUTTUU VIELÄ

a) Mitä virheitä kuvassa oli?

L on kytketty 6-liittimeen ja samasta liittimestä suoraan lampulle.

b) Miten korjasit virheet, jotta kytkin toimii oikein?

Tuleva vaihe tuodaan L-liittimeen ja lampulle lähtevä vaihe 1-liittimeen.

8 Sähköasennustekniikka

2 Kytkentä on virheellinen. Piirrä korjattu kytkentä viereen ja vastaa kysymyksiin. Piirrä yksiviivapiirrokseen tarvittavat johdinmerkinnät.

TÄHÄN KUVAT TAITOSTA

VASTAUSKUVAT PUUTTUVAT VIELÄ

a) Mikä virhe kytkennässä oli?

Nuoli alaspäin -liitin on kytketty L:n kanssa samaan.

b) Miten korjasit kytkennän, jotta se toimii oikein?

Nuoli alaspäin -liitin suoraan ensimmäiselle lampulle

3 Kytkentä on virheellinen. Piirrä korjattu kytkentä viereen ja vastaa kysymyksiin. Piirrä yksiviivapiirrokseen tarvittavat johdinmerkinnät. Piirrä myös korjatun kytkennän toimintaperiaate.

TÄHÄN KUVAT TAITOSTA

VASTAUSKUVAT PUUTTUVAT VIELÄ

a) Mikä virhe kytkennässä oli?

Kummallekaan lampulle ei mene vaihetta. Ensimmäiselle 6-kytkimelle tuleva vaihe menee myös toiselle 6-kytkimelle sekä 7-kytkimelle. 7-kytkimestä menee toiselle 6-kytkimelle tuleva vaihe vain jakorasian liittimeen asti. L:t on laitettu yhteen.

b) Miten korjasit kytkennän, jotta se toimii oikein?

Vaihe menee ensimmäisen 6-kytkimen L:ään. Ensimmäisen 6-kytkimen molemmat nuolet menevät 7-kytkimen alaspäin meneviin nuoliin. 7-kytkimen ylöspäin meneviltä nuolilta menee toisen 6-kytkimen toiseen nuoleen. Viimeisen 6-kytkimen L:ltä menee molemmille lampuille.

4 Piirrä moniviivapiirros yksiviivapiirroksesta. Lisää yksiviivapiirrokseen kaapelimerkinnät.

TÄHÄN KUVAT TAITOSTA

VASTAUSKUVAT PUUTTUVAT VIELÄ